

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy**

**Optimální řešení sítě linek MHD
v Českých Budějovicích**

***The Traffic Network Optimal Solution of Public
Transport in České Budějovice City***

**Student:
Vedoucí diplomové práce:**

**Bc. Strakoš Ondřej
doc. Ing. Ivana Olívková, Ph.D.**

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Ondřej Strakoš

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace:

20 Silniční doprava

Téma:

Optimální řešení sítě linek MHD v Českých Budějovicích
The Traffic Network Optimal Solution of Public Transport in České
Budějovice City

Zásady pro vypracování:

Cílem DP je analyzovat síť linek MHD v Českých Budějovicích a hodnoty přepravního proudu s využitím dostupných informací. Určit kriteria optimalizace, nalézt optimální trasy linek MHD. Návrh vyhodnotit z provozně-ekonomického hlediska.

Osnova DP:

1. Úvod
2. Analýza sítě linek MHD a přepravního proudu
3. Obecný popis modelu
4. Návrh sítě linek MHD
5. Výpočtová část (počet vozidel, intervaly)
6. Provozně-ekonomické vyhodnocení návrhu
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Surovec, P. Provoz a ekonomika silniční dopravy I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. 2000. ISBN 80-7078-735-X
2. Gross, I. Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. Praha: GRADA, Praha. 2003. ISBN 80-247-0421-8
3. Černý, J., Kulvánek, P. Základy matematickej teórie dopravy. Bratislava: VEDA-Vydavateľstvo slovenskej akadémie vied, Bratislava. ISBN 80-224-0099-8
4. Interní materiály dopravní firmy

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

STRAKOŠ, O. Optimální řešení sítě linek MHD v Českých Budějovicích

Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 111 s. Diplomová práce, vedoucí Olívková, I.

Diplomová práce se zabývá optimálním řešením sítě linek MDH v Českých Budějovicích. Obsahuje analýzu sítě linek MHD, přepravního proudu a návrh sítě linek MHD.

V úvodní části je provedena analýza stávající sítě linek MHD, kde je poukázáno na nedostatky na některých linkách. Hlavním bodem je návrh nové sítě linek s určením počtů vozidel a intervalů na jednotlivých linkách. Výpočet je proveden pomocí tří matematických modelů. V závěru je provedeno provozně-ekonomické zhodnocení návrhu.

ANNOTATION OF THESIS

STRAKOŠ, O. The Traffic Network Optimal Solution of Public Transport on České Budějovice City

Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2011, 111 p. Thesis, head Olívková, I.

The diploma thesis deals with the optimal lay-out of urban mass transportation network in České Budějovice. It consists of analysis of the network, number of passengers and the lay-out of the network.

In the first part of the thesis are presented some failures in the present state of some of the transport lines. The main part of the thesis is devoted to the lay-out of the new network of the transport lines where the number of vehicles and intervals of individual lines are set. The calculation is done using three mathematical models.

The final part is focused on the evaluation of the lay-out from the operational and economical points of view.

Prohlášení diplomanta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22. 5. 2011

.....

Strakoš Ondřej

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB - TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2011

.....
Strakoš Ondřej

Adresa trvalého pobytu studenta:
Rychaltice 88, 739 46 Hukvaldy

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 HISTORIE MHD ČESKÉ BUDĚJOVICE	12
1.1 Počátky MHD	12
1.1.1 Tramvajová doprava	12
1.1.2 Trolejbusová doprava	14
1.1.3 Autobusová doprava	15
1.1.4 Historie od roku 1972 po současnost.....	16
2 ANALÝZA SÍTĚ LINEK MHD A PŘEPRAVNÍHO PROUDU	18
2.1 SÍŤ LINEK MHD	18
2.1.1 Linka č. 1	19
2.1.2 Linka č. 2	20
2.1.3 Linka č. 3	20
2.1.4 Linka č. 4	21
2.1.5 Linka č. 5	22
2.1.6 Linka č. 6	22
2.1.7 Linka č. 7	22
2.1.8 Linka č. 8	23
2.1.9 Linka č. 9	23
2.1.10 Linka č. 10	24
2.1.11 Linka č. 11	24
2.1.12 Linka č. 12	24
2.1.13 Linka č. 13	25
2.1.14 Linka č. 14	25
2.1.15 Linka č. 16	25
2.1.16 Linka č. 17	26
2.1.17 Linka č. 19	26
2.1.18 Linka č. 41	27
2.1.19 Linka č. 50	27
2.1.20 Shrnutí.....	28
3 OBECNÝ POPIS MATEMATICKÉHO MODELU	29
3.1 ZJEDNODUŠENÍ SÍTĚ LINEK MHD	29

3.2	MODEL Č. 1	31
3.3	MODEL Č. 2.....	33
3.4	MODEL Č. 3.....	35
4	VÝPOČTOVÁ ČÁST	37
4.1	APLIKACE MODELU Č. 1	38
4.1.1	Dosazení do obecného modelu	38
4.1.2	Výsledky modelu v Xpress – IVE	40
4.2	APLIKACE MODELU Č. 2	41
4.2.1	Dosazení do obecného modelu	41
4.2.2	Zápis v programu Xpress – IVE	48
4.2.3	Výsledky modelu v Xpress – IVE	50
4.3	NÁVRH NOVÝCH LINEK.....	52
4.3.1	Výsledky modelu č. 1 v Xpress – IVE.....	54
4.3.2	Výsledky modelu č. 2 v Xpress – IVE.....	56
4.4	STÁVAJÍCÍ LINKOVÁ SÍŤ	58
4.5	APLIKACE MODELU Č. 3	59
4.5.1	Dosazení do obecného modelu	59
4.5.2	Výsledky modelu v Xpress – IVE	63
4.6	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	65
5	NÁVRH SÍTĚ LINEK.....	67
5.1	AUTOBUSOVÉ LINKY	68
5.2	TROLEJBUSOVÉ LINKY	72
6	PROVOZNĚ-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NÁVRHU	75
7	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

atd.	a tak dále
č.	číslo
max.	maximum
min.	minimum
např.	například
MHD	městská hromadná doprava
obr.	obrázek
tab.	tabulka
ÚF	účelová funkce
VŠERS	Vysoká škola evropských a regionálních studií
g_h [cestujících/h]	přepavní intenzita
o_l [min]	oběžná doba linky
d_L	druh vozidel
m_L	počet úseků na lince
v_{L0}, v_{LmL}	koncové uzly linky
v_{L1}, \dots, v_{LmL-1}	nácestné uzly linky
y	minimální poměrná rezerva
C_j	disponibilní počet vozidel j-tého typu
K	kapacita vozidla
K_j	kapacita j-tého typu vozidla
$N_L [h^{-1}]$	počet obrátů na dané lince
z_{ij}	binární proměnná
T	prohibitivní konstanta
Z_0^+	množina celých nezáporných čísel

C celkový počet použitých vozidel
 x_L počet vozidel nasazených na lince
 x_{Lj} počet vozidel daného typu nasazených na lince
 $i[\text{min}]$ linkový interval dopravy
 $t_o[\text{min}]$ oběžná doba linky
 N_l počet vozidel (souprav) zařazených v provozu na lince v oběhu

Úvod

Městská hromadná doprava (MHD) nebo také veřejná osobní doprava se používala v městech odjakživa. Ve středověku byly hlavním dopravním prostředkem nohy (lidské – vlastní/nevlastní, koňské). První formou dopravy byla nosítka, různé typy dvojček, které byly taženy lidskou silou. V 15. století se objevuje první dopravní prostředek pro přepravu osob, tzv. kočí. Těm se později začalo říkat kočáry a jejich použití se rozšířilo zejména v 17. a 18. století. Objevují se první hromadné dopravní prostředky, tzv. omnibusy. Ve městech dochází ke změně systému ulic, budují se na principu radiálně okružním, což zajišťuje lepší obslužnost. V 19. století pak tahá kůň všechny prototypy pozdějších motorových dopravních prostředků (železniční vozy, autobusy, tramvaje).

Velký význam v dopravě měla průmyslová revoluce. Rozumí se tím přechod od manuálního stádia výroby ke strojové velkovýrobě. Výrazným projevem této technické stránky bylo vynalezení parního stroje Jamesem Watem (1736–1819) a jeho uplatnění v průmyslu i v dopravě.

První parní autobusy se začaly používat ve Velké Británii roku 1830. Tyto parní autobusy jezdily rychlostí až 16 km/h. Později byly zkonstruovány první tramvajové lokomotivy. Paralelně s vývojem parní trakce probíhal i vývoj elektrických tramvají. První elektrická tramvaj byla realizována v Berlíně roku 1881 (Werner von Siemens). Dalším důležitým mezníkem pro vývoj dopravy je vůz poháněný spalovacím motorem, který sestrojil Karel Benz. První motorové autobusy se objevily v Londýně roku 1904. Během 19. století bylo zřejmé, že nárůst dopravy a s ním související dopravní potíže v některých světových velkoměstech je nutno řešit. Budují se proto první podzemní a nadzemní dráhy.

Vývoj MHD v České republice byl závislý na rozvoji území. V roce 1830 se v Praze objevuje první omnibus s 10 až 12 místy. V roce 1875 byla doprava nahrazena koňskou dráhou dlouhou 3,5 km. První parní tramvajová dráha byla v provozu od roku 1884 do roku 1900. První elektrickou tramvaj v Praze postavil a uvedl do provozu František Křižík v roce 1891. Provozování autobusové dopravy bylo zavedeno v r. 1908 v Praze. Později byla zastavena pro malý výkon motoru. Další rozvoj této dopravy nastal až po první světové válce (v letech 1932 až 1939). Rozvoj tramvajové dopravy nastává ve 20. letech a podílí se na něm firma Křižík. Trolejbusy se používaly ve městech ještě před válkou roku 1936. Největší rozmach nastal po válce. V roce 1974 byla zprovozněna první trasa metra, díky čemuž se tento rok stal pro pražskou hromadnou dopravu přelomovým okamžikem.

MHD je důležitou součástí velkých měst a osídlených území. Cestující se přepravují do zaměstnání, škol, za kulturou apod. Přeprava do zaměstnání a do škol probíhá v čase, kdy je přepravní špička a tato přepravní špička patří k nejsložitějším a nejvýznamnějším pro jméno dopravního podniku. Hromadná doprava musí zabezpečit všechny přepravní požadavky v určité míře kvality, jako je například přepravní kapacita, rychlost, spolehlivost, přesnost... Cestující zajímá v přepravě cena, dostupnost zastávek, bezpečnost dopravy, často je rovněž preferováno pohodlí při přepravě. Městskou dopravu využil snad každý (alespoň jedenkrát) a každý může říct, s čím byl spokojen a co by naopak změnil a vylepšil.

Diplomová práce se zabývá optimálním řešením sítě linek MHD v Českých Budějovicích.

1 Historie MHD České Budějovice

1.1 Počátky MHD

Zajistit spojení centra s nádražím – to už byl v mnoha městech úkol pro městskou hromadnou dopravu, ve své době většinou pro pouliční dráhu – tramvaj. Výjimkou nebyly ani České Budějovice. První tramvaje se na budějovickém náměstí objevily 2. prosince 1908 při předváděcí jízdě, ale trvalo ještě půl roku, než byl ve městě zahájen pravidelný provoz [1].

1.1.1 Tramvajová doprava

15. června 1909 se začalo jezdit po první trati, která začínala před tehdy zbrusu novou výpravní budovou budějovického nádraží. Pouliční dráha byla pouze jednokolejná a v určitých vzdálenostech byly zřízeny výhybny pro míjení protijedoucích vlaků. Za mostem, přes Mlýnskou stoku, trať procházela rozrůstajícím se Pražským předměstím. Podle něj byla i první linka označena písmenem P – viz. obr. č. 1. Konečná stanice byla u dělostřeleckých kasáren před závorami u dnes už neexistující plzeňské zastávky. Celkem byla linka P dlouhá necelé tři kilometry.



Obr. č. 1.1 Linka označená písmenem P [1]

Druhá trať vedla na tehdejší Linecké předměstí. Proto byla druhá linka označena písmenem L – viz obr. č. 1.2. Konečná stanice byla na konci dnešní Heydukovy ulice, opět u železniční zastávky. Na Linecké předměstí se začalo jezdit až 16. dubna 1910, ačkoliv byly obě tratě dokončeny současně.



Obr. č. 1.2 Linka označená písmenem L[1]

V roce 1925 zakoupily budějovickou pouliční dráhu Jihočeské elektrárny. O 11 let později uskutečnily jedinou významnější změnu provozu. Od roku 1936 jezdila jedna linka mezi oběma předměstími a druhá zajišťovala na náměstí přípoj k nádraží. Na sklonku druhé světové války se stav tratí zhoršil a tramvaje pomalu ztrácely dech. Investovat značné prostředky do jejich náročné obnovy a současně do výstavby nových tratí, které by zajistily kvalitní dopravu do dalších částí města či blízkých obcí, už nebylo ekonomické. O osudu budějovických tramvají bylo rozhodnuto. 2. března 1950 dojezdily. [1]

1.1.2 Trolejbusová doprava

Město potřebovalo také přímé spojení ke hřbitovu. Překonat dva frekventované železniční přejezdy však tramvaj nesměla, a tak se v Českých Budějovicích poprvé cestující 27. října 1909 svezli také trolejbusem. Vůz od firmy Daimler-Stoll neměl tyčové sběrače, na které jsme zvyklí dnes, ale táhl po trolejovém vedení speciální kontaktní vozíček. Tehdejší trolejbusy byly značně nespolehlivé a po pěti letech, na počátku první světové války, byl jejich provoz v Českých Budějovicích bez náhrady zastaven.

České Budějovice ale bez městské hromadné dopravy nezůstaly. Ještě před tím, než tramvaje projely ulicemi naposledy, Jihočeské elektrárny v Českých Budějovicích vybudovaly a postupně uvedly do provozu trolejbusovou síť – viz obr. č. 1.3. Dne 28. října 1948 se začala psát nová kapitola historie městské hromadné dopravy v Českých Budějovicích. Opět se městem rozjely trolejbusy. Nešlo již o primitivní poruchové vozy, ale o moderní dopravní prostředek, se kterým měla od roku 1936 dobré zkušenosti Praha, ke které za války přibýly Plzeň a Zlín a později ještě Most [1].



Obr. č. 1.3 Trolejbusová doprava [1]

První trať v Českých Budějovicích byla postavena do Čtyř Dvorů a vedla tedy za tehdejší hranice města. V srpnu 1949 byla dána do provozu převážná část nové trolejbusové sítě. Od 1. ledna 1950 bylo provozování městské hromadné dopravy v Českých Budějovicích vyčleněno z Jihočeských elektráren a svěřeno nově ustavenému samostatnému Dopravnímu podniku.

Trolejbusová doprava byla v následujících dvaceti letech páteří budějovické městské hromadné dopravy. Na sklonku 60. let se však neuváženě přikročilo k postupné likvidaci sítě a 24. září 1971 projely trolejbusy městem naposledy a jejich úkoly převzaly jen autobusy [1].

1.1.3 Autobusová doprava

První autobusovou linku (viz obr. č. 1.4) zavedl Dopravní podnik 8. září 1951 do Mladého, kam se nepodařilo postavit původně zamýšlenou trolejbusovou trať. V prvních letech autobusy zajišťovaly dopravu jen na několika nepříliš frekventovaných linkách. Postupně však přebíraly úkoly trolejbusů, a tak v roce 1972 v Českých Budějovicích jezdilo už 11 linek o celkové délce 87 kilometrů. Na sklonku roku 1988 dosáhla síť autobusových linek prakticky dvou set kilometrů [1].



Obr. č. 1.4 Autobusová doprava [1]

1.1.4 Historie od roku 1972 po současnost

Opětovný nástup trolejbusů - viz obr. č. 1.5.

Podnětem k obnově trolejbusové sítě byla představa, že spojí České Budějovice a Jadernou elektrárnu Temelín. Z velkorysého záměru sice sešlo, ale trolejbusů se nakonec dočkaly alespoň samotné České Budějovice. Tak se začala psát další kapitola kroniky českobudějovické městské hromadné dopravy.



Obr. č. 1.5 Opětovný nástup trolejbusů [2]

2. května 1991 se obyvatelé Českých Budějovic opět po dvaceti letech svezli trolejbusem. Nová vozovna pro trolejbusy byla postavena v Horní ulici. V následujících letech byla ve městě opět obnovena převážná většina původních tratí a trolejbusy dosáhly i do dalších částí města, především na nová sídliště.

Jako první byla spojena s hlavním dopravním uzlem u nádraží sídliště Máj, Vltava a Čtyři Dvory. V červnu 1992 byl zahájen provoz na trati kolem Ústředního hřbitova, přes Nemanice až do Borku a v září téhož roku byla dokončena první etapa výstavby sítě zprovozněním úseku do Rožnova. Počátek roku 1996 přinesl obnovu trolejbusové tratě do Suchého Vrbného a postavení nové větve k Papírnám. Trolejbusů se dočkalo ještě sídliště Šumava a 13. dubna 1998 byla dána do provozu trať na Strakonické ulici. A v roce 2003 se postavilo propojení mezi Pražskou třídou a nádražím po Pekárenské ulici.

Velkým krokem kupředu bylo zavedení provozu s novým odbavovacím a informačním systémem od ledna 2000. Vozidla MHD byla vybavena novými palubními počítači a označovači jízdenek. I tady se myslelo na postižené občany, byl uveden do provozu první kompletní informační systém pro nevidomé občany v České republice.

Současná MHD je zajišťována trolejbusy na 6 linkách o celkové délce 70 kilometrů, na které v pracovní dny při plném provozu vyjíždí 38 vozů a další dva jsou připraveny jako pohotovostní. Trolejové vedení jednostopově dosahuje stavební délky 63 kilometrů, včetně manipulačních úseků. V trolejové síti je instalováno celkem 129 výhybek. V zemi je uloženo celkem 147 km napájecích kabelů. Autobusový park je rozmanitý. Skládá se z 18 autobusů Karosa B 731, B732 a B 931, dále z 22 nízkopodlažních vozů Karosa Renault, z 18 kloubových autobusů Karosa B 741 a 941 a 6 nízkopodlažních Solarisů Urbino. Od konce roku 2005 jsou nově pořizované vozy Irisbus Citelis v počtu 17 kloubových vozidel a 2 sólo vozy. Posledním přírůstkem ve vozovém parku jsou 2 autobusy Irisbus Crossway LE – viz obr. č. 1.6.



Obr. č. 1.6 Irisbus Crossway LE[2]

Obnova trolejbusové dopravy neznamená, že by poklesl význam autobusů. Ty zajišťují dopravu na 13 linkách o celkové délce 165 kilometrů. V pracovní dny vyjíždí do ulic 61 vozů a další čtyři jsou každý den připraveny pro zálohové nasazení. Autobusové linky zajíždějí do 14 příměstských obcí a dvou měst (Rudolfov a Hluboká nad Vltavou), které jsou zařazeny do vnějšího tarifního pásma.

České Budějovice jsou sídlem mnoha světoznámých průmyslových podniků a významným dopravním uzlem. Není tedy divu, že mají i odpovídající nároky na městskou hromadnou dopravu [2].

2 Analýza sítě linek MHD a přepravního proudu

2.1 Síť linek MHD

Z orientačního plánu sítě linek Dopravního podniku města České Budějovice, viz příloha č. 1, je patrné, že síť MHD je velmi rozmanitá, protože v současné době linky obsluhují nejen celé město, ale i mnoho okolních obcí. Cestující se dopravují za zaměstnáním, do škol, za kulturou, do obchodních středisek a za různými dalšími činnostmi.

Dopravní podnik rozdělil obsluhované části na pět zón.

První zónu 01 tvoří centrum města a okolí. Zde se nachází nádraží, obchodní domy, restaurace, průmyslové podniky, lékařská zařízení (nemocnice, lékárny apod.) a další důležité obsluhované objekty. Další zóny, označené čísla 11, 12, 21 a 22, se nacházejí v okolních obcích. Všechny hraniční zastávky jsou hlášeny ve vozidlech MHD a upozorňují cestující na změnu zóny.

Zóna 11 začíná na hraničních zastávkách: Kněžské Dvory – sokolovna, Hrdějovice – točna, Nemanice, Vrato – Zastávka, Zvonárna, Srubec, Stará Pohůrka. Obce spadající pod tuto zónu jsou Hrdějovice, Borek, Rudolfovo, Hlinková Hora, Dobrá Voda a Srubec.

Zóna 12 je ohraničena zastávkami Srubec, Stará Pohůrka, Nové Hrdějovice – točna, Nové Roudné – rozcestí, Rožnov, Boršov nad Vltavou, Náves a Autocamping. Staré Hrdějovice, Roudné, Vidov, Včelná, Boršov nad Vltavou, Planá, Homole a Litvínovice jsou obce, kde tato zóna platí.

Zóna 21 je ohraničena pouze jednou zastávkou, a to Hrdějovice – točna. Tato zóna platí v obcích Hrdějovice, Hosín a Hluboká nad Vltavou.

Pro zónu 22 je rovněž jedna hraniční zastávka, a to Boršov nad Vltavou – Náves a obce, ve kterých platí, jsou Boršov nad Vltavou a Vrábče.

Všechny zóny jsou znázorněny v příloze č. 1.

Noční provoz MHD České Budějovice, který začíná od 20:00 a končí ve 4:00, je omezen jak počtem vozidel nasazených na jednotlivých linkách, tak intervalově. Z přílohy č. 2 je patrné, že obsluha je soustředěna do centra města a okolní obce zůstávají neobslouženy. Linky jezdí pouze v první tarifní zóně (01). Obsluhováno je nádraží, přes Žižkovská – VŠERS a Poliklinika Sever, Vrškův Dvůr, a dále Evžena Rošického až na Máj – Antonína Barcala. Zpět přes Šumavu, Vysokoškolské koleje, Výstaviště a buď na nádraží, nebo na jih města, a to na zastávky U Soudu, Samson až na Náměstí Bratří Čapků.

Z celkového počtu 18 linek (mimo noční linku č. 50), které jsou v Českých Budějovicích, 15 linek jezdí a zastavuje na zastávce Nádraží a mnoho spojů jezdí přes frekventovanou část centra, kde se v blízkosti nacházejí zastávky Poliklinika Sever, Mariánské náměstí, Družba - IGY. Tato část města je velice dopravně zatížená a dochází zde k častým kongescím na křižovatkách nejen ve špičce, ale i v sedle. Zastávky jsou přeplněné cestujícími, kteří přestupují mezi spoji. Kvůli přetížení dopravních prostředků se často vyskytují problémy a linky mají nepravidelný, nebo naopak dlouhý interval mezi příjezdy jednotlivých dopravních prostředků.

2.1.1 Linka č. 1

Spoj jede z Haklových Dvůrů přes Zavadilku, Máj, Šumavu, Čtyři Dvory, dále pokračuje centrem, nádražím, Novým Vrátem, Vrátem a končí v Rudolfově. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1. Spoj je realizován autobusy s dobou spoje 43 minut. Celkový počet nasazených vozidel na tuto linku je 9, z nichž 6 vozidel je nasazeno na celodenní směnu a 3 vozy na dělenou směnu.

Doba spoje je časový úsek mezi časem odjezdu spoje z jeho výchozí zastávky a časem příjezdu do jeho konečné zastávky [3].

Podle relativní obsazenosti spojů, viz příloha č. 3, je nejvíce zatížená oblast mezi zastávkami Evžena Rošického a Výstaviště v době od 7:30 do 8:00. Hodnota relativní obsazenosti je na 70 %. V odpoledních hodinách od 14:30 do 15:00 je tato linka nejvíce zatížená mezi zastávkami Nové Vráto – U Pily až po zastávku Rudolfovo – Rozcestí. Relativní obsazenost této linky mimo tyto extrémy je v rozmezích mezi 3 až 30 %, což naznačuje poměrně malé obsazení.

V okolí Haklových Dvorů se nachází několik rybníků, u zastávky Výstaviště jsou sportovní areály (tenisové hřiště, fotbalové hřiště a atletický stadion). Tato linka jede přes centrum, nádraží a zajíždí do okolních obcí Vráto, Rudolfovo a Hlincová Hora.

2.1.2 Linka č. 2

Linka spojuje Borek s Rožnovem přes Nemanice, Pražské předměstí, centrum, dále ve směru nádraží, nemocnice a končí ve zmiňovaném Rožnově. Na linku č. 2 jsou nasazeny trolejbusy a doba spoje je 41 minut. Linku obsluhuje celkem 11 trolejbusů. Na celodenní směnu je nasazeno celkem 7 trolejbusů a na dělenou směnu 4 trolejbusy.

Největší intenzita je mezi okolím centra, nádražím a nemocnicí, kdy největší hodnota přepravených osob za časové období od 06:00 do 22:30 hodin se rovná 5 627 přepravených osob v pracovním dnu mezi zastávkami Poliklinika Jih a U Soudu.

Trasa linky s hodnotami intenzity přepravního proudu jsou znázorněny a vyčísleny v příloze č. 4.

Podle relativní obsazenosti spoje je nejvíce zatížená linka mezi zastávkami Senovážné náměstí a Poliklinikou Jih v době od 9:00 do 9:30, kdy tato hodnota je 80 % a v době od 12:30 do 13:00 s hodnotou 50 % ve směru z obce Borek do Rožnova. V opačném směru je nejkritičtější místo mezi zastávkou U Soudu a Poliklinikou Jih a v čase od 13:00 do 14:00 je hodnota relativní obsazenosti v rozmezí 60 až 70 %. V těchto místech a v tomto čase je spoj přetížen natolik, že poptávka je vyšší než kapacita spoje. Na konečných zastávkách a v podvečerních hodinách je obsazenost spoje mezi 3 až 20 %. Více viz příloha č. 5 a 6.

Linka přepravuje cestující mezi nemocnicí a nádražím, nádražím a centrem. Spojuje centrum s Nemanicemi a Borkem. Před Nemanicemi se nachází hřbitov a mezi Nemanicemi a Borkem leží velkoobchod Makro.

2.1.3 Linka č. 3

Tato linka je významná z toho hlediska, že spojuje nádraží s centrem, univerzitou, kde se nacházejí vysokoškolské koleje, a spojuje Šumavu s Májem. Na linku jsou nasazeny trolejbusy s dobou spoje 19 minut. Celkový počet vozidel nasazených na této lince je 9, z čehož 5 vozidel je na celodenní směnu a 4 jsou na dělené směny.

Největší intenzita cestujících je mezi centrem, respektive zastávkou Poliklinika Sever a zastávkou Jihočeská univerzita, kde největší hodnota přepravených osob za časové období od 06:00 do 22:30 hodin se rovná 8 125 přepravených osob v pracovním dnu mezi zastávkami Výstaviště a U Zelené ratolesti.

Linka je nejzatíženější ze všech, které se v Českých Budějovicích nacházejí. Trasa a hodnoty intenzity přepravního proudu jsou znázorněny a vyčísleny v příloze č. 7.

Podle grafů relativní obsazenosti tohoto spoje, viz příloha č. 8, je linka nejvíce zatížená v celém svém rozsahu, přesněji mezi zastávkami Jihočeská univerzita až po zastávku Poliklinika Sever. V době od 6:30 po odpolední hodiny 17:30 se hodnota relativní obsazenosti pohybuje v rozmezí mezi 40 až 60 %. Největší je pak od 9:30 do 10:30 s hodnotou 80 %. Linka je v tuto dobu plně obsazena a poptávka je vyšší než kapacita dopravního prostředku. Tento problém se vyskytuje i v době od 16:30 do 17:00 hodin. Výše popsané hodnoty jsou pro směr ze zastávky Máj – Antonína Barcala na zastávku Nádraží. V opačném směru linky jsou problémové úseky mezi Poliklinikou Sever až Jihočeská univerzita a v odpoledních hodinách až po zastávku Jaroslava Bendy. Hodnota relativní obsazenosti se pohybuje v rozmezí 40 do 60 %, s nejhorsími úseky v dobách od 7:00 do 7:30 s hodnotou 50 % obsazenosti spoje, v době od 14:00 do 15:30 s nejvyšší hodnotou 70 % relativní obsazenosti a s nejvyšší hodnotou relativní obsazenosti spoje 60 % v době od 16:00 do 16:30, kdy je poptávka vyšší než kapacita dopravního prostředku, viz příloha č. 9.

2.1.4 Linka č. 4

Cestující na této lince se mohou přepravovat mezi nádražím, centrem, Pražským předměstím, dále ve směru Kněžské Dvory, obcemi Hrdějovice, Hosín až do vzdálenější Hluboké nad Vltavou. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1. Linku obsluhuje autobus s dobou spoje 49 minut. Na linku jsou nasazeny celkem dva dopravní prostředky (autobusy). Jeden jezdí celodenní směny a druhý dělené směny.

Ve směru zastávek Hluboká nad Vltavou až po Nádraží je linka podle relativní obsazenosti zatížena v celém rozsahu (jak hodinově, tak i mezizastávkově) konstantně s hodnotou relativní obsazenosti mezi 3 až 15 %, což je velice nízká hodnota obsazení. Největší hodnota je mezi zastávkami Mariánské náměstí – Suchomelská v době od 7:00 do 7:30 s hodnotou relativní obsazenosti 50 %. V odpoledních hodinách v době od 15:00 do 15:30 mezi zastávkami Družba – IGY a Kněžské Dvory – sokolovna, v době od 15:30 do

16:00 mezi zastávkami Hrdějovice, Náves a Hosín, U Školy, v době od 17:00 do 17:30 mezi zastávkami Mariánské náměstí a Suchomelská a v době od 17:30 do 18:00 mezi zastávkami Roberta Porsche a Hrdějovice, Točna. Hodnota relativní obsazenosti v těchto výše zmíněných místech a časech se pohybuje v rozmezí od 60 do 80 %. Více viz příloha č. 10 .

2.1.5 Linka č. 5

Linka jede z Máje přes Šumavu, Vltavu, Pražské předměstí do Nového Vráta. Na lince jsou nasazeny autobusy a doba spoje je 25 minut. Na lince jsou celkem 2 dopravní prostředky, které jezdí pouze v dělené směně. Trasa linky viz příloha č. 1.

Ve směru ze zastávky Nové Vráto – Scanie do zastávky Máj – Milady Horákové má linka největší relativní obsazenost mezi zastávkami Vltava – střed a Evžena Rošického, a to v době od 14:00 do 14:30 s hodnotou 60 až 70 %. Kromě tohoto jediného extrému je obsazenost minimální od 3 % do 15 %. Relativní obsazenost (příloha č. 11) na této lince je nižší, protože spoje objíždí centrum a zajíždí do okolních obcí.

2.1.6 Linka č. 6

Linka spojuje obce Hosín, Hrdějovice přes Kněžské Dvory a Pražské předměstí, centrum se Stromovkou, Letiště a dále pokračuje obcemi Planá, Homole a končí v Nových Homolích. Linka je obsluhována pomocí autobusů s dobou spoje 48 minut. Počet vozidel nasazených na této lince je celkem 7, které se dělí v poměru 3 vozidla v celodenní směně a 4 vozidla v dělené směně. Trasa linky je zobrazena v příloze č. 1.

U obcí Nové Homole, Homole a Planá se nachází letiště České Budějovice.

2.1.7 Linka č. 7

Obsluhuje České Budějovice část Máj, projíždí kolem univerzity, Stromovkou, kolem nemocnice, dále přes Rožnov a obce Vlečnou, Boršov nad Vltavou a Vrábče. Na linku č. 7 jsou nasazeny autobusy a doba spoje je 36 minut. Počet autobusů je celkem 8. Na celodenní směnu jsou nasazena 3 vozidla a na dělenou směnu 5 vozidel. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

2.1.8 Linka č. 8

Tento spoj spojuje zastávku Nádraží s částí Máj, kdy objíždí centrum přes Nové Vráto, Nemanice, kolem Kněžských Dvorů, přes Vltavu a končí ve zmíněném Máji. Cestující jsou obsluhováni autobusy s dobou spoje 31 minut. Celkový počet autobusů na lince je 6, z toho 2 vozidla jsou nasazena na celodenní směny a 4 vozidla na dělené směny. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

2.1.9 Linka č. 9

Linka jede ze Suchého Vrbného, přes Pětidomí na nádraží přes centrum, kde se nacházejí frekventované zastávky Poliklinika Sever, Mariánské náměstí a Družba IGY. Dále pokračuje přes Pražské předměstí na Vltavu a končí v Českém Vrbném. Linku obsluhují trolejbusy s dobou spoje 33 minut. Na tuto linku je nasazeno celkem 7 trolejbusů, které se rozdělují na 5 vozů v celodenních směnách a 2 vozy na dělených směnách.

V celém své délce je linka téměř konstantně zatížená. Největší intenzita je mezi centrem a zastávkou Vltava, kde se intenzita přepravovaných osob pohybuje v rozmezí od 2 500 do 3 500 přepravených cestujících, avšak největší hodnota přepravených osob za časové období od 06:00 do 22:30 hodin se rovná 3 778 přepravených osob v pracovním dnu mezi zastávkami Mariánské náměstí a Družba – IGY. Trasa linky s hodnotami intenzity přepravených cestujících je zobrazena v příloze č. 12.

Linka je více obsazena ve směru z České Vrbné do Suché Vrbné. Mezi zastávkami Vltava střed a Poliklinika Sever v době od 7:00 do 10:00 je relativní obsazenost v rozmezí od 50 do 70 % a je zde vyšší poptávka cestujících než kapacita dopravního prostředku. Ve stejné době je ale mezi zastávkami Nádraží a Suché Vrbné hodnota relativní obsazenosti 60 až 70 % a kapacita dopravního prostředku je opět nedostatečná vzhledem k poptávce cestujících. Opačný směr je nejvíce obsazen v odpoledních hodinách, a to od 14:00 do 16:00 mezi zastávkami Poliklinika Sever a Vltava střed, kdy hodnota relativní obsazenosti je 60 až 70 %. Viz příloha č. 13 a 14.

2.1.10 Linka č. 10

Linka spojuje okolní obce, a to Kaliště a Vidov, a projíždí Novými Třebotovicemi, Dobrou Vodou, Pohůrkou, Starou Pohůrkou kolem Pětídomí a přes zastávku Nádraží dále ve směru na centrum, Havlíčkovu Kolonii a do obcí Roudné a Vidov. Na linku jsou nasazeny autobusy s dobou spoje 46 minut a celkovým počtem 4 autobusů. Dva autobusy jsou nasazeny na celodenní směně a zbývající dva na dělené směny. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

2.1.11 Linka č. 11

Linka začíná v obci Staré Hodějovice a dále pokračuje přes obce Nové Hodějovice a Mladé na zastávku Nádraží a dále přes Pražské předměstí, kde dělá spoj okružní jízdu přes zastávky Družba – IGY, U Trojice, Čěčova, Pražské sídliště, Strakonická – Möbelix a zpět na Družbu – IGY. Na linku jsou nasazeny autobusy s oběžnou dobou linky 61 minut. Celkový počet autobusů je 7. Čtyři vozy v celodenní směně a tři vozy v dělené směně. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

Podle grafu relativní obsazenosti je trasa linky nejvíce zatížená mezi zastávkami Družstevní dům a Jírovčova od 7:00 do 8:00 s hodnotou relativní obsazenosti od 20 % do 30 %. Mezi zastávkami Palackého náměstí a Mladé točna je v časech od 12:00 do 17:00 relativní obsazenost na hodnotě od 20 % do 30 %. Z grafu jde vidět, že tato linka je kromě těchto nejvyšších hodnot obsazena velice málo, a to v rozmezí od 3 % do 20 % relativní obsazenosti. Relativní obsazenost této linky je znázorněna v příloze č. 15.

2.1.12 Linka č. 12

Obsluhuje Havlíčkovou kolonii přes zastávku Nádraží a dále ve směru na Pražské předměstí, kde dělá stejnou okružní jízdu jako linka č. 11. Linka je obsluhovaná autobusy s oběžnou dobou linky 53 minut. Na linku jsou nasazeny 4 autobusy, kdy dva jsou nasazeny na denní směnu a zbývající jsou na dělenou směnu. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

2.1.13 Linka č. 13

Tato linka spojuje okolní obce s nádražím, kde cestující přestupují na další spoje, které je přepraví do centra a dalších významných míst v Českých Budějovicích. Obce Srubec, Stará Pohůrka, Pohůrka spojuje přes Pětídomí a nádraží s částí nemocnice. Na linku jsou nasazeny dva autobusy, které jezdí v celodenní směně s dobou spoje 33 minut. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

Podle grafů relativní obsazenosti tohoto spoje, viz příloha č. 16, je linka nejvíce zatížená mezi zastávkami U Soudu a Podhůrka – kulturní dům v době od 14:30 do 16:30, kdy hodnota relativní obsazenosti spoje je v rozmezí od 50 % do 80 %. Spoj je mimo toto časové a zastávkové rozpětí velice málo obsazen, a to v rozmezí od 3 % do 10 %, místy až 15 %.

2.1.14 Linka č. 14

Linka obsluhuje zastávku Vltava, kde se nachází Velký Vávrovský rybník a Mladohaklovský rybník, přes zastávky Otavská, Výstaviště, Poliklinika Sever, Senovážné náměstí – pošta, U Soudu, Poliklinika Jih až na konečnou zastávku Papírenská – točna. Doba spoje této trolejbusové linky je 23 minut a počet vozů nasazených na této lince celkem je 4. Na celodenní směně jsou dva trolejbusy a na dělené směně taktéž dva trolejbusy. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

2.1.15 Linka č. 16

Autobusová linka spojuje okolní obce Mokré, Šindlový Dvory a Litvínovice s centrem, kde se nachází zastávka Nádraží, a pokračuje dále přes Husovu kolonii až na konečnou zastávku Slévárenská. Doba spoje je 37 minut. Na tuto linku jsou nasazeny celkem 3 autobusy. Jeden na celodenní směnu a dva na dělenou směnu. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

Podle grafu relativní obsazenosti, viz příloha č. 17, je tato linka nejvíce zatížená v době od 6:30 do 7:30 a dále v době od 8:00 do 8:30 na stejném mezizastávkovém úseku, a to mezi zastávkou Litvínovice až po zastávku Ludvíka Svobody. Hodnota relativní obsazenosti spoje je v hodnotě od 25 % do 40 %. Mimo tento uvedený časový a zastávkový úsek je linka obsazena od 3 % do 25 % (30 %), což je velice nízká hodnota.

V modelu bude tato linka označena jako linka č. 15.

2.1.16 Linka č. 17

Linka, která je obsluhována trolejbusy, jezdí mezi částmi města Máj, Šumava, dále přes Vltavu, Pražské předměstí, centrum až na zastávku Nádraží, kde linka končí. Doba spoje je 20 minut. Celkový počet trolejbusů, které jsou nasazeny na tuto linku je 6, z toho čtyři na celodenní směnu a dva na dělenou směnu. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

V modelu bude tato linka označena jako linka č. 16.

2.1.17 Linka č. 19

Linka obsluhuje části města Vltava, Čtyři Dvory, Stromovku, centrum dále pokračuje přes zastávku Nádraží, Nové Hlinsko až do obce Dobrá Voda. Doba spoje této linky je 34 minut. Jedná se o autobusovou linku, na kterou je nasazeno celkem 5 autobusů. Tři autobusy jezdí na celodenní směně a zbývající dva jezdí dělenou směnu. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

Tato autobusová linka je podle grafu relativní obsazenosti spoje (podle trasy a denní doby), viz příloha č. 18, nejvíce zatížená v době od 7:00 do 7:30 a v době od 9:00 do 9:30 s hodnotou od 70 % do 80 % relativní obsazenosti mezi zastávkami Kovárna až po zastávku Vrbenská. V odpoledních hodinách je největší extrém v době od 14:00 do 14:30 a mezi zastávkami Vrbenská až po zastávku Senovážné náměstí – DK s hodnotou 80 % relativní obsazenosti. Kromě těchto uvedených extrémů je tato linka zatížená v rozmezí od 3 % do 40 %.

V modelu bude tato linka označena jako linka č. 17.

2.1.18 Linka č. 41

Jedná se o okružní linku, která jezdí trasu Tesco – Nádraží – Tesco. Podrobněji jezdí ze zastávky Tesco mezi částmi města Šumava a Máj, dále pokračuje kolem Jihočeské univerzity a vysokoškolských kolejí, přes Výstaviště a centrum na zastávku Nádraží, kde spoj pokračuje přes zastávku Skuherského a městskou částí Pražské předměstí a Vltavu na výchozí zastávku Tesco. Doba spoje je 39 minut. Na tuto autobusovou linku jsou nasazeny 2 autobusy, kdy jeden jezdí celodenní směnu a druhý dělenou směnu.

Intenzita přepravených cestujících je nízká z důvodů zuvolněného intervalu mezi spoji. Spoj jede jen třikrát v odpoledních hodinách, a to v 14:45, 15:45 a 16:45. Počty přepravených osob se pohybují v desítkách, avšak v nejvíce zatížených místech se toto číslo zvyšuje až na několik stovek přepravených osob. Trasa linky je znázorněna v příloze č. 1.

V modelu bude tato linka označena jako linka č. 18.

2.1.19 Linka č. 50

Jedná se o noční linku, která jezdí od 22:00 do 04:00. Linka zajišťuje obsluhu v tarifní zóně č. 01. Doba spoje je 61 minut a celkový počet trolejbusů nasazených na této lince jsou dva. Při optimalizaci se s touto linkou neuvažuje.

Jedná se o okružní linku, která začíná na zastávce Náměstí Bratří Čapků a dále pokračuje přes zastávky Samson, Poliklinika Jih, U Soudu směrem na zastávku Nádraží. Odtud linka pokračuje na zastávku Poliklinika Sever, kde se rozděluje, a dále buď pokračuje na okružní jízdu přes zastávky Družba – IGY, U Trojice, Voříškův Dvůr a Václava Talicha, nebo přes zastávky U Zelené ratolesti, Výstaviště, Vysokoškolské koleje, Jihočeská univerzita a Šumava. Zastávky Jaroslava Bendy a Máj – Antonína Barcala je už zase společná. Trasa této noční linky je znázorněna v příloze č. 2.

2.1.20 Shrnutí

Z výše uvedených a popsaných jednotlivých trolejbusových a autobusových linek je patrné, že část linek je velice přetížená, např. linky č. 2, 3, 9. Přetíženost linek je tak velká, že poptávka je vyšší než kapacita spoje nasazeného na dané lince. Cestující se potom nemohou dostat včas do zaměstnání, škol, k lékařům a podobně.

Naopak proti přetíženým linkám najdeme i takové linky, které jsou zcela nezatížené, např. linka č. 1, 5, 11. Tyto linky jsou z velké části neobsazeny natolik, že náklady na jejich provoz jsou vyšší, než výdělek z prodeje jízdenek cestujícím, kteří cestují v daném spoji. Dopravní podnik tak musí takové linky dotovat

Vyskytují se zde i takové linky, které jsou zatíženy jen na určitých mezizastávkových úsecích, a to jen v krátkých časových intervalech, který trvá někdy jen několik desítek minut (max. do 120 minut). Jedná se o linky č. 4, 5, 13 a 19.

3 Obecný popis matematického modelu

3.1 Zjednodušení sítě linek MHD

Jak již bylo uvedeno v bodě 2.1 (Sít' linek MHD) a z orientačního plánu sítě linek MHD České Budějovice je patrné, že sít' je velmi rozmanitá. Obsluha je prováděna ve městě, ale i v okolních obcích a městech. V centru města mají linky často stejnou trasu se shodnými zastávkami. Naopak v okolních obcích a městech je pro každé z nich obsluha prováděná vždy jinou linkou, která jezdí a obsluhuje dané město nebo obec.

Trasy všech linek jsou znázorněny v příloze č. 1. Pro zjednodušení celé sítě linek použijeme graf mezizastávkových úseků na síti linek MHD, viz příloha č. 19.

Zjednodušení sítě MHD České Budějovice vedlo ke změnám:

- jsou-li zastávky umístěny sériově za sebou na jedné hraně a nedochází na nich k větvení sítě linek, pak jsou tyto mezizastávkové úseky sloučeny v jeden úsek. Tento problém se nachází v okolních obcích a městech,
- není uvažováno zajištění spojů linek do obce Vrábče, Boršov nad Vltavou, Hluboká nad Vltavou, Hosín a Rudolfov, jelikož tyto obce obsluhují jen malý počet spojů,
- Havlíčkova kolonie je nahrazena jednou hranou a vrcholem, který reprezentuje zastávky, které se nacházejí v této oblasti.

Zjednodušená sít' MHD se všemi úpravami je znázorněna v příloze č. 20.

Ve zjednodušené síti jsou libovolně očíslovány jednotlivé hrany, které jsou definovány intenzitou přepravených cestujících za hodinu. Tato intenzita je stanovena z maximálních hodnot. Maximální hodnota intenzity se volila buď z ranní intenzity, a to od 6:00 do 9:00, viz příloha č. 21, nebo z odpoledních intenzit od 13:00 do 17:00, viz příloha č. 22. Přepočtené hodinové intenzity jsou uvedeny v příloze č. 23. Celá zjednodušená sít' s maximální přepravní intenzitou je znázorněna v příloze č. 24.

Pro matematické modely byl vytvořen textový soubor pro zjednodušení, viz příloha č. 25. V textovém souboru se nacházejí následující informace:

- počet linek na jednotlivých hranách – $Poc: [1, 5, \dots, 1, 2]$,
 - např. číslo 5 znázorňuje počet linek na hraně druhé (první hrana je obsluhována jednou linkou, druhá hrana je obsluhována pěti linkami atd.).
- určení linek na jednotlivých hranách – „(číslo hrany, pořadové číslo linky) číslo linky“,
 - např. hrana č. 2 – víme, že na této hraně je obsluha prováděná celkem pěti linkami, a to linkou č 3, 5, 7, 8 a 16. Zápis vypadá následovně: (2,1) 3, (2,2) 5, (2,3) 7, (2,4) 8, (2,5) 16 a vyjadřuje, že na hraně druhé je v pořadí jako první linka, je linka č. 3, ..., na druhé hraně je v pořadí páté linky, je linka č. 16.
- přepravní intenzity cestujících za hodinu na jednotlivých hranách $q_h [132, 267, \dots, 51, 41]$,
- oběžná doba linky $o_l [100, 100, \dots, 90, 60]$
 - je definována jako časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími odjezdy stejného vozidla ze stejného profilu tratě ve stejném směru při cyklickém oběhu vozidla na lince [3].

3.2 Model č. 1

Tento model rozmísťuje kapacitu vozového parku vyjádrenou v počtech miest na jednotlivé linky. Optimalizačným kritériom je minimálna pomerná rezerva obsazenosti vozidla, ktorá sa maximalizuje.

Je dána zjednodušená dopravná sieť MHD České Budějovice. V dopravnej sieti sú znázornené vrcholy, v ktorých je možno linku ukončiť alebo kde dochádza k vetveniu dopravného systému. Pre každú linku $L \in L_0$ je definovaná trasa a základný technologický parameter, ktorým je oběžná doba o_L . Ďalej je známa množina hran H , jednotlivé hrany sú popísané maximálnou intenzitou prepravených cestujúcich za hodinu q_h .

Je dána širšia množina linek L_0 . Pomocí promenné x_l , ktorá vyjadruje počet miest nabídnutých na danom úseku linky za hodinu, vybereme linky $L \in L_h$ do množiny L_0 . Jestliže $x_l \geq 0$, potom linka bude vybraná do množiny L_0 , v opačnom prípade, keď $x_l \leq 0$, linka nebude vybraná do množiny L_0 [4].

Širšia množina linek L_0 , pričom pre $L \in L_0 : L = (o_L, d_L, v_{l0}, \dots, v_{LmL})$, kde:

- o_L - oběžná doba vozidla na lince L ,
- d_L - druh vozidel používaných na lince L ,
- m_L - počet úsekov na lince L ,
- v_{l0}, v_{LmL} - koncové uzly linky L ,
- v_{L1}, \dots, v_{LmL-1} - nácestné uzly linky L .

Úlohou je nájsť hodnotu $y \geq 1$ a ďalej pre všetky L hodnotu $x_L \geq 0$, pričom:

- x_L - výkonnosť linky L ,
- y - minimálna pomerná rezerva obsazenosti vozidla na úsekoch siete tak, aby sa splnili podmienky (3.2 a 3.3).

Účelová funkce

$$\max f(y) = y \quad (3.1)$$

Omezující podmínky

$$\sum_{L \in L_0} o_L \cdot x_L \leq c \quad (3.2)$$

$$\sum_{L \in L_h} x_L \geq q_h \cdot y \quad \text{pro } h \in H \quad (3.3)$$

Obligatorní podmínky

$$y \geq 1 \quad (3.4)$$

$$x_L \geq 0 \quad (3.5)$$

Omezující podmínka č.1 (3.2) zajišťuje, že nebude překročena disponibilní kapacita vozidlového parku. Součin $x_L \cdot o_L$ vyjadřuje nabízenou kapacitu linky. Sčítání je provedeno pro všechny linky L.

Omezující podmínka č. 2 (3.3) zajišťuje, že všechny přepravní požadavky budou splněny (na každém úseku sítě linek nabídneme dostatečný počet míst). Sčítání je provedeno pro všechny linky L, které projíždí přes úsek h , resp. pro které existuje takové j , že $(v_{L_j}, v_{L_{j+1}}) = h$ a nebo $(v_{L_{j+1}}, v_{L_j}) = h$, aby se maximalizovala hodnota účelové funkce $z = y$ (tj. aby se maximalizovala minimální poměrná rezerva obsazenosti vozidel na úsecích sítě).

3.3 Model č. 2

Tento model přiřazuje potřebný počet vozidel na jednotlivé linky. Optimalizačním kritériem u tohoto modelu je minimální poměrná rezerva obsazenosti vozidla, která se maximalizuje.

Je dána zjednodušená dopravní síť MHD České Budějovice. V dopravní síti jsou znázorněny vrcholy, ve kterých je možno linku ukončit nebo kde dochází k větvení dopravního systému. Pro každou linku $L \in L_0$ je definována trasa a základní technologický parametr, kterým je oběžná doba o_L . Dále je známá množina hran H , jednotlivé hrany jsou popsány maximální intenzitou přepravených cestujících za hodinu q_h .

Pomocí proměnné x_{Lj} , která určuje počet vozidel v provozu j -tého typu nasazených na lince $L \in L_0$. Jestliže $x_{Lj} \geq 0$, potom vozidla j -tého typu budou nasazena na linku $L \in L_0$, v opačném případě nebudou vozidla na linku nasazena [4].

Účelová funkce

$$\max f(y) = y, \text{ kde:} \quad (3.6)$$

y ... minimální poměrná rezerva mezi obsazeností vozidla na úsecích sítě linek.

Omezující podmínky

$$\sum_{L \in L_0} x_{Lj} \leq C_j \quad \text{pro } j \in J, \text{ kde:} \quad (3.7)$$

x_{Lj} ... počet vozidel daného typu nasazených na lince $L \in L_0$

C_j ... disponibilní počet vozidel j -tého typu

Tato podmínka zajišťuje, aby nedošlo k překročení disponibilního počtu vozidel, j -tého typu.

$$\sum_{L \in L_h} \sum_{j \in J} K_j \cdot x_{Lj} \cdot N_L \geq q_h \cdot y \quad \text{pro } h \in H, \text{ kde:} \quad (3.8)$$

K_j ... kapacita j -tého typu vozidla,

N_L ... počet obrátů na dané lince,

$$N_L = \frac{60}{o_L} [h^{-1}], \text{ kde:} \quad (3.9)$$

q_h ... intenzita přepravených cestujících za hodinu na hraně h .

Podmínka zajišťuje, že na každé hraně nabídneme minimálně tolik míst, kolik je požadavků.

$$\sum_{j \in J} z_{lj} \leq 1 \quad \text{pro } L \in L_0, \text{ kde:} \quad (3.10)$$

z_{lj} ... binární proměnná, při $z_{lj} = 1$ je daný typ vozidla přiřazen na lince l , jestliže $z_{lj} = 0$ není daný typ přiřazen.

Podmínka zajišťuje, že na každou linku bude přiřazen pouze jeden typ vozidel.

$$x_{Lj} \leq T \cdot z_{lj} \quad \text{pro } \begin{matrix} L \in L_0 \\ j \in J \end{matrix}, \text{ kde:} \quad (3.11)$$

T ... prohibitivní konstanta.

Obligatorní podmínky

$$y \geq 1 \quad (3.12)$$

$$x_{Lj} \in Z_0^+ \quad (3.13)$$

$$z_{lj} \in \{0,1\} \quad (3.14)$$

3.4 Model č. 3

Poslední model, který bude použit, slouží k minimalizaci celkového počtu použitých vozidel. Optimalizačním kritériem bude celkový počet vozidel, který se bude minimalizovat.

Je dána zjednodušená dopravní síť MHD České Budějovice. V dopravní síti jsou znázorněny vrcholy, ve kterých je možno linku ukončit nebo kde dochází k větvení dopravního systému. Pro každou linku $L \in L_0$, je definována trasa a základní technologický parametr, kterým je oběžná doba o_L . Dále je známá množina hran H , jednotlivé hrany jsou popsány maximální intenzitou přepravených cestujících za hodinu q_h .

Proměnná v tomto modelu je x_C , která vyjadřuje počet vozidel přidělených na linku L . Jestliže $x_C > 0$, potom linka bude v provozu, v opačném případě, tj. $x_C = 0$, linka v provozu nebude [4].

Účelová funkce

$$\min f(x) = C, \text{ kde:} \quad (3.15)$$

C ... celkový počet použitých vozidel.

Omezující podmínky

$$\sum_{L \in L} x_L = C, \text{ kde:} \quad (3.16)$$

x_L ... počet vozidel nasazených na lince $L \in L_0$.

Tato podmínka zajišťuje, že nebude překročený celkový počet vozidel.

$$\sum_{L \in L_h} K \cdot x_L \cdot N_L \geq q_h \quad \text{pro } h \in H, \text{ kde:} \quad (3.17)$$

K ... kapacita vozidla,

N_L ... počet obrátů na dané lince,

q_h ... intenzita přepravených cestujících za hodinu na hraně h .

Podmínka zajišťuje, že na každé hraně bude nabídnuto minimálně tolik míst, kolik je požadavků.

Obligatorní podmínky

$$x_L \in Z_0^+ \quad (3.18)$$

4 Výpočtová část

V předchozí kapitole č. 3 (Obecný popis matematického modelu) byly popsány matematické modely, které nyní budou použity k řešení problému přidělování vozidel linkám v síti linek MHD České Budějovice.

Výpočet bude nejdříve proveden na stávajících linkách, bez úprav a pouze se zjednodušením sítě linek. Po aplikaci modelů (č. 1 a 2) budou navrženy nové linky a výpočet bude proveden znova pro nově navrženou síť linek (aplikace modelů č. 1, 2 a 3). V závěru této kapitoly bude provedeno zhodnocení jak stávajících linek, tak nově navržených.

Řešení bude provedeno v optimalizačním programu Xpress – IVE.

V modelech se vyskytují proměnné, které charakterizují počet míst na jednotlivých linkách (model č. 1) nebo počet vozidel, která budou na linku nasazena (model č. 2 a 3). Výpis proměnných je v tabulce č. 4.1.

Tab.č. 4.1: Proměnné v modelech

Linka č.	Oběžná doba linky [min]	Proměnná		
		Model č. 1	Model č. 2	Model č. 3
1	100	x_1	x_{1j}	x_1
2	100	x_2	x_{2j}	x_2
3	60	x_3	x_{3j}	x_3
4	120	x_4	x_{4j}	x_4
5	70	x_5	x_{5j}	x_5
6	110	x_6	x_{6j}	x_6
7	90	x_7	x_{7j}	x_7
8	80	x_8	x_{8j}	x_8
9	80	x_9	x_{9j}	x_9
10	110	x_{10}	x_{10j}	x_{10}
11	80	x_{11}	x_{11j}	x_{11}
12	70	x_{12}	x_{12j}	x_{12}
13	80	x_{13}	x_{13j}	x_{13}
14	60	x_{14}	x_{14j}	x_{14}
15	90	x_{15}	x_{15j}	x_{15}
16	60	x_{16}	x_{16j}	x_{16}
17	90	x_{17}	x_{17j}	x_{17}
18	60	x_{18}	x_{18j}	x_{18}

V modelu č. 2 se vyskytuje proměnná dvouindexová, kdy poslední číslice (index j) charakterizuje typ vozidla.

4.1 Aplikace modelu č. 1

Nejprve bude provedeno dosazení do obecného modelu a poté se provede výpočet. Optimalizačním kritériem je minimální poměrná rezerva obsazenosti vozidla, která se maximalizuje. Tento model rozmísťuje kapacitu vozového parku vyjádřenou v počtech míst na jednotlivé linky.

Konstanta c , která charakterizuje maximální kapacitu vozového parku vyjádřenou jako počet míst, která máme k dispozici, se stanoví:

$$c = 33 \cdot K_1 + 65 \cdot K_2 = 33 \cdot 50 + 65 \cdot 100 = 8150 \text{ míst, kde:}$$

$K_1, K_2 \dots$ kapacita dopravních prostředků daného typu (konstanty jsou zvoleny).

4.1.1 Dosazení do obecného modelu

Účelová funkce:

$$\max f(y) = y$$

Za podmínek:

$$100 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 + 60 \cdot x_3 + 120 \cdot x_4 + 70 \cdot x_5 + 110 \cdot x_6 + 90 \cdot x_7 + 80 \cdot x_8 + 80 \cdot x_9 + 110 \cdot x_{10} + 80 \cdot x_{11} + 70 \cdot x_{12} + 80 \cdot x_{13} + 60 \cdot x_{14} + 90 \cdot x_{15} + 60 \cdot x_{16} + 90 \cdot x_{17} + 60 \cdot x_{18} \leq 8150$$

$$x_1 \geq 132 \cdot y$$

$$x_3 + x_5 + x_7 + x_8 + x_{16} \geq 267 \cdot y$$

$$x_{15} \geq 82 \cdot y$$

$$x_6 \geq 67 \cdot y$$

$$x_7 \geq 130 \cdot y$$

$$x_{10} \geq 92 \cdot y$$

$$x_2 + x_5 + x_7 \geq 442 \cdot y$$

$$x_2 + x_{13} + x_{14} \geq 54 \cdot y$$

$$x_6 + x_{15} \geq 157 \cdot y$$

$$x_1 + x_3 + x_8 \geq 1116 \cdot y$$

$$x_1 + x_5 + x_{16} + x_{18} \geq 687 \cdot y$$

$$x_5 + x_8 + x_{16} + x_{18} \geq 394 \cdot y$$

$$x_9 \geq 441 \cdot y$$

$$x_5 + x_8 + x_9 + x_{16} + x_{18} \geq 871 \cdot y$$

$$x_{14} + x_{17} \geq 695 \cdot y$$

$$x_1 + x_7 + x_{18} \geq 695 \cdot y$$

$$x_1 + x_3 + x_{14} + x_{18} \geq 1285 \cdot y$$

$$x_7 + x_{17} \geq 435 \cdot y$$

$$x_{14} \geq 121 \cdot y$$

$$x_2 + x_7 + x_{10} \geq 676 \cdot y$$

$$x_2 + x_7 + x_{10} + x_{14} \geq 790 \cdot y$$

$$x_6 + x_7 + x_{13} + x_{15} + x_{17} \geq 253 \cdot y$$

$$x_2 + x_6 + x_{10} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{17} \geq 1023 \cdot y$$

$$x_{11} + x_{12} \geq 191 \cdot y$$

$$x_5 + x_8 + x_9 + x_{13} + x_{16} + x_{18} \geq 863 \cdot y$$

$$x_4 + x_6 \geq 195 \cdot y$$

$$x_8 \geq 165 \cdot y$$

$$x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{11} + x_{12} + x_{16} + x_{18} \geq 1118 \cdot y$$

$$x_2 + x_4 + x_5 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{16} + x_{18} \geq 1241 \cdot y$$

$$x_2 + x_4 + x_6 + x_9 + x_{12} + x_{16} \geq 1166 \cdot y$$

$$x_1 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{16} + x_{18} \geq 1287 \cdot y$$

$$x_6 + x_{14} \geq 231 \cdot y$$

$$x_2 + x_{10} + x_{15} + x_{17} \geq 752 \cdot y$$

$$x_1 + x_3 + x_4 + x_9 + x_{16} + x_{18} \geq 1022 \cdot y$$

$$x_2 + x_{11} \geq 344 \cdot y$$

$$x_{12} \geq 58 \cdot y$$

$$x_1 + x_5 + x_{11} + x_{18} \geq 227 \cdot y$$

$$x_1 + x_5 + x_8 + x_{15} \geq 337 \cdot y$$

$$x_9 + x_{10} + x_{13} + x_{17} \geq 523 \cdot y$$

$$x_{11} \geq 199 \cdot y$$

$$x_2 \geq 329 \cdot y$$

$$x_{11} \geq 220 \cdot y$$

$$x_5 + x_{11} + x_{18} \geq 220 \cdot y$$

$$x_2 + x_8 \geq 368 \cdot y$$

$$x_8 \geq 62 \cdot y$$

$$x_1 + x_5 \geq 302 \cdot y$$

$$x_9 + x_{10} + x_{17} \geq 383 \cdot y$$

$$x_{13} \geq 117 \cdot y$$

$$x_{17} \geq 179 \cdot y$$

$$x_{10} + x_{17} \geq 41 \cdot y$$

$$y \geq 1$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18} \geq 0$$

4.1.2 Výsledky modelu v Xpress – IVE

$$y = 1.54941$$

$$x(1) = 437.707$$

$$x(2) = 563.209$$

$$x(3) = 1035.78$$

$$x(4) = 0$$

$$x(5) = 30.2134$$

$$x(6) = 30.134$$

$$x(7) = 341.644$$

$$x(8) = 255.652$$

$$x(9) = 683.288$$

$$x(10) = 142.545$$

$$x(11) = 340.869$$

$$x(12) = 89.8655$$

$$x(13) = 181.28$$

$$x(14) = 744.489$$

$$x(15) = 127.051$$

$$x(16) = 299.035$$

$$x(17) = 332.347$$

$$x(18) = 297.486$$

Z výsledků vyplývá, že model nenabízí místa na linku č. 4. Tato linka je příměstská a je nahrazena jinými linkami, které mají podobnou trasu jako uvedená linka. Nejvíce míst model přidělil na linku č. 1, 2, 3, 9 a 14. Nejméně na linku č. 5, 12 a 15. Hodnota minimální poměrné rezervy obsazenosti je $y = 1,54941$.

4.2 Aplikace modelu č. 2

Stejně jako v předešlé aplikaci u modelu č. 1 bude v tomto modelu č. 2 nejprve provedeno dosazení do obecného modelu a poté se provede výpočet. Optimalizačním kritériem je minimální poměrná rezerva obsazenosti vozidla, která se maximalizuje. Tento model přiřazuje potřebný počet vozidel daného typu (sólo vozy nebo kloubové vozy) na jednotlivé linky.

4.2.1 Dosazení do obecného modelu

Účelová funkce:

$$\max f(y) = y$$

Za podmíněk:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} + x_{91} + x_{101} + x_{111} + x_{121} + \\ + x_{131} + x_{141} + x_{151} + x_{161} + x_{171} + x_{181} \leq 34$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} + x_{92} + x_{102} + x_{112} + x_{122} + \\ + x_{132} + x_{142} + x_{152} + x_{162} + x_{172} + x_{182} \leq 65$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) \geq 132 \cdot y$$

$$\frac{60}{60} \cdot (x_{31} \cdot 50 + x_{32} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{161} \cdot 100) \geq 267 \cdot y$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_{151} \cdot 50 + x_{152} \cdot 100) \geq 82 \cdot y$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) \geq 67 \cdot y$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) \geq 130 \cdot y$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) \geq 92 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) \geq 442 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{131} \cdot 50 + x_{132} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) \geq 54 \cdot y$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{151} \cdot 50 + x_{152} \cdot 100) \geq 157 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{31} \cdot 50 + x_{32} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) \geq 1116 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 687 \cdot y$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 394 \cdot y$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) \geq 441 \cdot y$$

$$\begin{aligned} & \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{91} \cdot 100) + \\ & + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 871 \cdot y \end{aligned}$$

$$\frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 695 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 695 \cdot y$$

$$\begin{aligned} & \frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{31} \cdot 50 + x_{32} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) + \\ & + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 1285 \cdot y \end{aligned}$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 435 \cdot y$$

$$\frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) \geq 121 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) \geq 676 \cdot y$$

$$\begin{aligned} & \frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) + \\ & + \frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) \geq 790 \cdot y \end{aligned}$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{71} \cdot 50 + x_{72} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{131} \cdot 50 + x_{132} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{90} \cdot (x_{151} \cdot 50 + x_{152} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 253 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{80} \cdot (x_{131} \cdot 50 + x_{132} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{151} \cdot 50 + x_{152} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 1023 \cdot y$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{121} \cdot 50 + x_{122} \cdot 100) \geq 191 \cdot y$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) +$$

$$+ \frac{60}{80} \cdot (x_{131} \cdot 50 + x_{132} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 863 \cdot y$$

$$\begin{aligned}
& \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) \geq 165 \cdot y \\
& \frac{60}{120} \cdot (x_{41} \cdot 50 + x_{42} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{121} \cdot 50 + x_{122} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 1118 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{120} \cdot (x_{41} \cdot 50 + x_{42} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{121} \cdot 50 + x_{122} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 1241 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{120} \cdot (x_{41} \cdot 50 + x_{42} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{121} \cdot 50 + x_{122} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) \geq 1166 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 1287 \cdot y \\
& \frac{60}{110} \cdot (x_{61} \cdot 50 + x_{62} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{141} \cdot 50 + x_{142} \cdot 100) \geq 231 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{151} \cdot 50 + x_{152} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 752 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{31} \cdot 50 + x_{32} \cdot 100) + \frac{60}{120} \cdot (x_{41} \cdot 50 + x_{42} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{161} \cdot 50 + x_{162} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 1022 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) \geq 344 \cdot y \\
& \frac{60}{70} \cdot (x_{121} \cdot 50 + x_{122} \cdot 100) \geq 58 \cdot y \\
& \frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) + \\
& + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 227 \cdot y
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) + \\ & + \frac{60}{90} \cdot (x_{151} \cdot 50 + x_{152} \cdot 100) \geq 337 \cdot y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{131} \cdot 50 + x_{132} \cdot 100) + \\ & + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 523 \cdot y \end{aligned}$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) \geq 199 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) \geq 329 \cdot y$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) \geq 220 \cdot y$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{111} \cdot 50 + x_{112} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{181} \cdot 50 + x_{182} \cdot 100) \geq 220 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{21} \cdot 50 + x_{22} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) \geq 368 \cdot y$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{81} \cdot 50 + x_{82} \cdot 100) \geq 62 \cdot y$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_{11} \cdot 50 + x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{51} \cdot 50 + x_{52} \cdot 100) \geq 302 \cdot y$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{91} \cdot 50 + x_{92} \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 383 \cdot y$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{131} \cdot 50 + x_{132} \cdot 100) \geq 117 \cdot y$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 179 \cdot y$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{101} \cdot 50 + x_{102} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{171} \cdot 50 + x_{172} \cdot 100) \geq 41 \cdot y$$

$$z_{11} + z_{12} \leq 1$$

$$z_{21} + z_{22} \leq 1$$

$$z_{31} + z_{32} \leq 1$$

$$z_{41} + z_{42} \leq 1$$

$$z_{51} + z_{52} \leq 1$$

$$z_{61} + z_{62} \leq 1$$

$$z_{71} + z_{72} \leq 1$$

$$z_{81} + z_{82} \leq 1$$

$$z_{91} + z_{92} \leq 1$$

$$z_{101} + z_{102} \leq 1$$

$$z_{111} + z_{112} \leq 1$$

$$z_{121} + z_{122} \leq 1$$

$$z_{131} + z_{132} \leq 1$$

$$z_{141} + z_{142} \leq 1$$

$$z_{151} + z_{152} \leq 1$$

$$z_{161} + z_{162} \leq 1$$

$$z_{171} + z_{172} \leq 1$$

$$z_{181} + z_{182} \leq 1$$

$$x_{11} \leq 10000 \cdot z_{11}$$

$$x_{12} \leq 10000 \cdot z_{12}$$

$$x_{21} \leq 10000 \cdot z_{21}$$

$$x_{22} \leq 10000 \cdot z_{22}$$

$$x_{31} \leq 10000 \cdot z_{31}$$

$$x_{32} \leq 10000 \cdot z_{32}$$

$$x_{41} \leq 10000 \cdot z_{41}$$

$$x_{42} \leq 10000 \cdot z_{42}$$

$$x_{51} \leq 10000 \cdot z_{51}$$

$$x_{52} \leq 10000 \cdot z_{52}$$

$$x_{61} \leq 10000 \cdot z_{61}$$

$$x_{62} \leq 10000 \cdot z_{62}$$

$$x_{71} \leq 10000 \cdot z_{71}$$

$$x_{72} \leq 10000 \cdot z_{72}$$

$$x_{81} \leq 10000 \cdot z_{81}$$

$$x_{82} \leq 10000 \cdot z_{82}$$

$$x_{91} \leq 10000 \cdot z_{91}$$

$$x_{92} \leq 10000 \cdot z_{92}$$

$$x_{101} \leq 10000 \cdot z_{101}$$

$$x_{102} \leq 10000 \cdot z_{102}$$

$$x_{111} \leq 10000 \cdot z_{111}$$

$$x_{112} \leq 10000 \cdot z_{112}$$

$$x_{121} \leq 10000 \cdot z_{121}$$

$$x_{122} \leq 10000 \cdot z_{122}$$

$$x_{131} \leq 10000 \cdot z_{131}$$

$$x_{132} \leq 10000 \cdot z_{132}$$

$$x_{141} \leq 10000 \cdot z_{141}$$

$$x_{142} \leq 10000 \cdot z_{142}$$

$$x_{151} \leq 10000 \cdot z_{151}$$

$$x_{152} \leq 10000 \cdot z_{152}$$

$$x_{161} \leq 10000 \cdot z_{161}$$

$$x_{162} \leq 10000 \cdot z_{162}$$

$$x_{171} \leq 10000 \cdot z_{171}$$

$$x_{172} \leq 10000 \cdot z_{172}$$

$$x_{181} \leq 10000 \cdot z_{181}$$

$$x_{182} \leq 10000 \cdot z_{182}$$

$$y \geq 1$$

$$x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{51}, x_{61}, x_{71}, x_{81}, x_{91}, x_{101}, x_{111}, x_{121}, x_{131}, x_{141}, x_{151}, x_{161}, x_{171}, x_{181} \in Z_0^+$$

$$x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{52}, x_{62}, x_{72}, x_{82}, x_{92}, x_{102}, x_{112}, x_{122}, x_{132}, x_{142}, x_{152}, x_{162}, x_{172}, x_{182} \in Z_0^+$$

$$z_{11}, z_{21}, z_{31}, z_{41}, z_{51}, z_{61}, z_{71}, z_{81}, z_{91}, z_{101}, z_{111}, z_{121}, z_{131}, z_{141}, z_{151}, z_{161}, z_{171}, z_{181} \in \{0,1\}$$

$$z_{12}, z_{22}, z_{32}, z_{42}, z_{52}, z_{62}, z_{72}, z_{82}, z_{92}, z_{102}, z_{112}, z_{122}, z_{132}, z_{142}, z_{152}, z_{162}, z_{172}, z_{182} \in \{0,1\}$$

4.2.2 Zápis v programu Xpress – IVE

Pro názornost udávám způsob zápisu matematické úlohy v programu Xpress – IVE.

model *Model_2*

uses "mmxprs";

declarations

H=1..69

L=1..18

J=1..2

Poc:array(H) of integer

Lh:array(range,range) of integer

q:array(H) of integer

x:array(L,J) of mpvar

Ol:array(L) of real

z:array (L,J) of mpvar

c:array(J) of integer

K:array(J) of integer

y:mpvar

T:real

end-declarations

initializations from "Model-c.2.txt"

Poc

Lh

q

Ol

end-initializations

forall(l in L, j in J) z(l,j) is_binary

forall(l in L, j in J) x(l,j) is_integer

```

c(1):=33
c(2):=65
K(1):=50
K(2):=100
T:=10000
forall(j in J) sum(l in L) x(l,j)<=c(j)
forall(h in H) sum(i in 1..Poc(h),j in J) K(j)*x(Lh(h,i),j)*(60/Ol(Lh(h,i)))>=y*q(h)
forall(l in L) sum(j in J)z(l,j)<=1
forall(l in L, j in J) x(l,j)<=T*z(l,j)
y>=1
maximize(y)
writeln
writeln("y= ",getobjval);
forall (l in L,j in J) writeln ("x(",l,"",",j,"") = ",getsol(x(l,j)));
end-model

```

4.2.3 Výsledky modelu v Xpress – IVE

$$y = 1.51383$$

$$x(1,1) = 0$$

$$x(1,2) = 9$$

$$x(2,1) = 0$$

$$x(2,2) = 11$$

$$x(3,1) = 0$$

$$x(3,2) = 9$$

$$x(4,1) = 1$$

$$x(4,2) = 0$$

$$x(5,1) = 0$$

$$x(5,2) = 0$$

$$x(6,1) = 0$$

$$x(6,2) = 5$$

$$x(7,1) = 0$$

$$x(7,2) = 3$$

$$x(8,1) = 7$$

$$x(8,2) = 0$$

$$x(9,1) = 0$$

$$x(9,2) = 9$$

$$x(10,1) = 0$$

$$x(10,2) = 3$$

$$x(11,1) = 9$$

$$x(11,2) = 0$$

$$x(12,1) = 3$$

$$x(12,2) = 0$$

$$x(13,1) = 5$$

$$x(13,2) = 0$$

$$x(14,1) = 0$$

$$\mathbf{x(14,2) = 6}$$

$$x(15,1) = 0$$

$$x(15,2) = 2$$

$$x(16,1) = 0$$

$$x(16,2) = 1$$

$$x(17,1) = 0$$

$$\mathbf{x(17,2) = 11}$$

$$\mathbf{x(18,1) = 8}$$

$$x(18,2) = 0$$

Tento druhý matematický model přiřadil nejvíce vozidel na linky č. 1, 2, 3, 8, 9, 11, 14, 17 a 18. Vozidla kapacity $K_1 = 50$ míst přidělil na linky č. 4, 8, 11, 12, 13 a 18. Vozidla kapacity $K_2 = 100$ míst přidělil na linky č. 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 14, 15, 16 a 17. Žádné vozidlo tento model nepřidělil na linku č. 5. Hodnota minimální poměrné rezervy obsazenosti u této varianty je $y = 1,51383$. Výpočtový čas tohoto modelu je 4,3 s.

Vozový park trolejbusové dopravy se skládá pouze z kloubových vozidel. Trolejbusové linky jsou linka č. 2, 3, 9, 14, 16 a noční linka č. 50, o které neuvažujeme. Na tyto linky model přidělil kloubová vozidla s kapacitou $K_2 = 100$ míst. Kdyby tak model neučinil, museli bychom zapsat další podmínku ve tvaru:

$$z_{l2} = 1 \text{ pro } l = 2,3,9,14,16.$$

4.3 Návrh nových linek

Návrh nových linek vychází z některých původních linek, a to z linek č. 16, 12, 6 a 1. Širší množina linek se bude skládat jak z nově navržených linek, tak i ze stávajících. Celkový počet stávajících linek je 18 a navržených linek je 6.

Linka č. 19

Linka vychází z původní linky č.16 a začíná v obci Litvínovice na zastávce Litvínovice, Mokré, Točna a pokračuje přes zastávky Autocamping, U Vodárny, U Zimního stadionu, Senovážné náměstí – DK, Žižkova – VŠERS na zastávku Nádraží, kde linka končí. Doba spoje této linky je 22 minut.

Linka č. 20

Vychází z původní linky č.12 a 16. Linka obsluhuje Havlíčkovu kolonii (zastávky Malý jez a U Trati) a zastávky Čechova, Alešova a Nádraží, odtud pokračuje na zastávky Dobrovská, U Sirkárny, Pekárenská – U Křížku, Žerotínova, Husova kolonie, Okružní – Točna na Slévárenskou, kde linka končí. Doba spoje této linky je 25 minut.

Linka č. 21

Linka začíná v obci Hosín a pokračuje přes obec Hrdějovice a Kněžské Dvory, dále přes zastávky Strakonická – Möbelix, U Trojice, Mariánské náměstí, Poliklinika Sever, Senovážné náměstí – DK a končí na zastávce U Soudu. Tato linka vychází z linek č. 6 (převážně) a č. 4. Doba spoje této linky je 28 minut.

Linka č. 22

Začíná v obci Nové Homole a pokračuje přes obce Homole a Planá. Obsluhuje pak dále zastávky Autocamping, U Vodárny, Ludvíka Svobody, U Soudu, Senovážné náměstí – KD, Žižkova –VŠERS na zastávku Nádraží, kde tato linka končí. Výchozí linkou je linka č. 6 a 16. Doba spoje této linky je 24 minut.

Linka č. 23

Výchozí linkou je linka č. 1. Začátek linky je v Haklových Dvorech, a pokračuje přes Zavadilku a zastávky Větrná, Evžena Rošického, U Parku, Výstaviště, Poliklinika Sever, Žižkova – VŠERS na zastávku Nádraží, kde linka končí. Doba spoje linky je 23 minut.

Linka č. 24

Předchozí linka č. 23 končí na zastávce Nádraží, tato linka na ni navazuje (stejná výchozí linka č. 1) a začíná na zastávce Nádraží a pokračuje přes zastávky Dobrovodská, Rudolfovská – U Sirkárny, Rozcestí Hlinsko, obce Nové Vráto, Vráto, Rudolfov do konečné zastávky Hlincová Hora. Doba spoje je 16 minut.

Nově navržené linky jsou shrnuty v tabulce č. 4.2.

Tab. č. 4.2 Shrnutí nově navržených linek

Linka č.	Doba spoje [min]	Oběžná doba linky [min]	Proměnná		
			Model č.1	Model č.2	Model č.3
19	22	60	X ₁₉	X _{19j}	X ₁₉
20	25	70	X ₂₀	X _{20j}	X ₂₀
21	28	70	X ₂₁	X _{21j}	X ₂₁
22	24	70	X ₂₂	X _{22j}	X ₂₂
23	23	60	X ₂₃	X _{23j}	X ₂₃
24	16	50	X ₂₄	X _{24j}	X ₂₄

V modelu č. 2 se vyskytuje proměnná dvouindexová, kdy poslední číslice (index j) charakterizuje typ vozidla.

Nově navržené linky jsou znázorněny a zakresleny v příloze č. 26. Barevné odlišení linek v příloze č. 26 je znázorněno v tab. č. 4.3.

Tab. 4.3 Tabulka barevného odlišení linek

Linka č.	Barva
19	Zelená
20	Fialová
21	Modrá
22	Černá
23	Šedá
24	Žlutá

V této kapitole byly popsány nově navržené linky. Pro každou linku je definována trasa a základní technologický parametr, kterým je oběžná doba o_l . Celkem je těchto linek 6. Výpočet bude proveden znova jak se stávajícími linkami, tak s nově navrženými. Po aplikaci modelů bude provedeno zhodnocení jak navržených, tak stávajících linek (uvedeno v úvodu této kapitoly).

Matematické modely č. 1 a 2 byly aplikovány v předešlých kapitolách 4.1 a 4.2. Aplikace u nově navržených linek by byla obdobná. Změna u těchto modelů je v celkovém počtu linek (z $L=18$ linek se počet zvýší na $L=24$ linek) a změna počtu linek na jednotlivých hranách, kde jsou nově navržené linky aplikovány.

Z těchto důvodů budou pouze u modelu č. 1 a 2 vypsány výsledné hodnoty z programu Xpress – IVE. Chybějící model č. 3 bude aplikován stejným způsobem jako v předešlých kapitolách 4.1 a 4.2.

4.3.1 Výsledky modelu č. 1 v Xpress – IVE

$$y = 1.58127$$

$$x(1) = 446.709$$

$$x(2) = 574.792$$

$$x(3) = 1057.08$$

$$x(4) = 0$$

$$x(5) = 30.8348$$

$$x(6) = 118.595$$

$$x(7) = 348.67$$

$$x(8) = 260.91$$

$$x(9) = 697.34$$

$$x(10) = 145.477$$

$$x(11) = 347.88$$

$$x(12) = 91.7137$$

$$x(13) = 185.009$$

$$x(14) = 759.8$$

$$x(15) = 47.4381$$

$$x(16) = 305.185$$

$$x(17) = 339.183$$

$$x(18) = 303.604$$

$$x(19) = 82.2261$$

$$x(20) = 0$$

$$x(21) = 189.752$$

$$x(22) = 0$$

$$x(23) = 0$$

$$x(24) = 0$$

Z výsledků vyplývá, že modelu č. 1 přidělil místa na nově navržené linky č. 19 a 21. Na ostatní nově navržené linky nepřidělil žádné místo a s linkami nepočítá. Stejně jako s linkou č. 4, která je původní.

Nejvíce míst přidělil tento model na původní linky č. 1, 2, 3, 9 a 14. Nejméně na linku č. 5, 12 a 19. Hodnota minimální poměrné rezervy obsazenosti je $y = 1,58127$.

4.3.2 Výsledky modelu č. 2 v Xpress – IVE

$$y = 1.53264$$

$$x(1,1) = 0$$

$$x(1,2) = 7$$

$$x(2,1) = 0$$

$$x(2,2) = 9$$

$$x(3,1) = 0$$

$$x(3,2) = 10$$

$$x(4,1) = 0$$

$$x(4,2) = 0$$

$$x(5,1) = 1$$

$$x(5,2) = 0$$

$$x(6,1) = 0$$

$$x(6,2) = 2$$

$$x(7,1) = 0$$

$$x(7,2) = 5$$

$$x(8,1) = 0$$

$$x(8,2) = 4$$

$$x(9,1) = 0$$

$$x(9,2) = 10$$

$$x(10,1) = 0$$

$$x(10,2) = 3$$

$$x(11,1) = 9$$

$$x(11,2) = 0$$

$$x(12,1) = 0$$

$$x(12,2) = 1$$

$$x(13,1) = 5$$

$$x(13,2) = 0$$

$$x(14,1) = 0$$

$$\mathbf{x(14,2) = 7}$$

$$x(15,1) = 1$$

$$x(15,2) = 0$$

$$x(16,1) = 0$$

$$x(16,2) = 1$$

$$\mathbf{x(17,1) = 11}$$

$$x(17,2) = 0$$

$$x(18,1) = 0$$

$$x(18,2) = 5$$

$$x(19,1) = 0$$

$$x(19,2) = 1$$

$$x(20,1) = 1$$

$$x(20,2) = 0$$

$$\mathbf{x(21,1) = 5}$$

$$x(21,2) = 0$$

$$x(22,1) = 0$$

$$x(22,2) = 0$$

$$x(23,1) = 0$$

$$x(23,2) = 0$$

$$x(24,1) = 0$$

$$x(24,2) = 0$$

U tohoto modelu byla využita doplňující podmínka ve tvaru:

$z_{l2} = 1$ pro $l = 2, 3, 9, 14, 16$, která zajistí, že na linky, na kterých jsou nasazeny trolejbusy (jedná se o linku č. 2, 3, 9, 14 a 16), budou použita vozidla, jejichž kapacita je $K_2 = 100$ míst.

Co se týká nově navržených linek, přiřadil na ně model vozidla kapacity $K_1 = 50$ míst na linky č. 20 a 21 a vozidla kapacity $K_2 = 100$ míst na linku č. 19. Tento model nepřiradil vozidla na nové linky č. 22, 23 a 24.

Na stávající linky tento model přiřadil nejvíce vozidel na linku č. 1, 2, 3, 9, 11, 14, 17 a 21. Vozidla kapacity $K_1 = 50$ míst přidělil na linku č. 5, 11, 13, 15, 17, 20 a 21. Vozidla kapacity $K_2 = 100$ míst přidělil na linku č. 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18 a 19. Vozidla nepřidělil vůbec na linku č. 4.

Hodnota minimální poměrné rezervy obsazenosti u této varianty je $y = 1,53398$. Výpočtový čas tohoto modelu je 56,8 s.

4.4 Stávající linková síť

Počet vozidel, která jsou nasazena do provozu na jednotlivých původních linkách, dosadíme do modelu č. 2, a tímto krokem zjistím hodnotu minimální poměrné rezervy u stávající sítě linek. Konstanty, které jsou dosazeny do modelu č. 2, jsou uvedeny v tabulce č. 4.4. První číslo v závorce určuje linku, na které jsou vozidla nasazena, a druhé číslo charakterizuje typ vozidla (je-li 1 – kapacita vozidla je 50 míst, je-li 2 – kapacita vozidla je 100 míst).

Tento krok je proveden proto, abych byl schopen porovnat stávající síť a nově navrženou linkovou síť.

Tab. č. 4.4 Doplňující konstanty

x (1,2)=9	x (2,2)=11	x (3,2)=9	x (4,2)=2	x (5,1)=2	x (6,1)=7
x (7,2)=8	x (8,2)=6	x (9,2)=7	x (10,1)=4	x (11,2)=7	x (12,1)=7
x (13,1)=2	x (14,2)=4	x (15,1)=3	x (16,2)=6	x (17,1)=5	x (18,1)=2

Po aplikaci těchto konstant do uvedeného modelu č. 2 je minimální poměrná rezerva původní sítě linek (bez jakýchkoliv úprav) MHD České Budějovice rovna $y = 0.815348$.

Už při srovnání této hodnoty s hodnotou z modelu č. 2, kdy hodnota minimální poměrné rezervy u tohoto modelu je $y = 1.53398$, jde vidět, že nově navržená síť má vyšší minimální poměrnou rezervu, a z tohoto pohledu se dá říct, že je lepší.

Tuto stejnou myšlenku použijí i po aplikaci modelu č. 3 v následující kapitole, kdy tento model zjistí minimální počet vozidel na jednotlivých linkách.

4.5 Aplikace modelu č. 3

Aplikace tohoto posledního modelu, který bude použit při optimalizaci sítě linek MHD v Českých Budějovicích, bude provedeno stejně jako u modelu č. 1 a 2. Nejprve se dosadí do obecného modelu a poté se provede výpočet v programu Xpress – IVE.

Model slouží k minimalizaci celkového počtu použitých vozidel. Optimalizačním kritériem je celkový počet vozidel, který se bude minimalizovat

4.5.1 Dosazení do obecného modelu

Účelová funkce

$$\min f(x) = C$$

Omezující podmínky

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + \\ + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq C$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) \geq 132$$

$$\frac{60}{60} \cdot (x_3 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) \geq 267$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_{15} \cdot 100) \geq 82$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) \geq 67$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) \geq 130$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) \geq 92$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) \geq 442$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{13} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) \geq 54$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{15} \cdot 100) \geq 157$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_3 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) \geq 1116$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 687$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 394$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) \geq 441$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 871$$

$$\frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 695$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 695$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_3 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 1285$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 435$$

$$\frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) \geq 121$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) \geq 676$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_7 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) + \\ + \frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) \geq 790$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_7 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{13} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{15} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 253$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{13} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) + \\ + \frac{60}{90} \cdot (x_{15} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 1023$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{12} \cdot 100) \geq 191$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{13} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \\ + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 863$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) \geq 165$$

$$\frac{60}{120} \cdot (x_4 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \\ + \frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 1118$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{120} \cdot (x_4 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \\ + \frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{12} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 1241$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{120} \cdot (x_4 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_{12} \cdot 100) + \\ + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) \geq 1166$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \\ + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 1287$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_6 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{14} \cdot 100) \geq 231$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{15} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 752$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_3 \cdot 100) + \frac{60}{120} \cdot (x_4 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{16} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 1022$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) \geq 344$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_{12} \cdot 100) \geq 58$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 227$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{15} \cdot 100) \geq 337$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{13} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 523$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) \geq 199$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) \geq 329$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) \geq 220$$

$$\frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_{11} \cdot 100) + \frac{60}{60} \cdot (x_{18} \cdot 100) \geq 220$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_2 \cdot 100) + \frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) \geq 368$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_8 \cdot 100) \geq 62$$

$$\frac{60}{100} \cdot (x_1 \cdot 100) + \frac{60}{70} \cdot (x_5 \cdot 100) \geq 302$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_9 \cdot 100) + \frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 383$$

$$\frac{60}{80} \cdot (x_{13} \cdot 100) \geq 117$$

$$\frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 179$$

$$\frac{60}{110} \cdot (x_{10} \cdot 100) + \frac{60}{90} \cdot (x_{17} \cdot 100) \geq 41$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12},$$

$$, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24} \in \mathbb{Z}_0^+$$

4.5.2 Výsledky modelu v Xpress – IVE

$$C = 56$$

$$x(1) = 4$$

$$x(2) = 6$$

$$x(3) = 7$$

$$x(4) = 0$$

$$x(5) = 1$$

$$x(6) = 2$$

$$x(7) = 4$$

$$x(8) = 3$$

$$x(9) = 6$$

$$x(10) = 2$$

$$x(11) = 3$$

$$x(12) = 0$$

$$x(13) = 2$$

$$x(14) = 5$$

$$x(15) = 0$$

$$x(16) = 2$$

$$x(17) = 3$$

$$x(18) = 2$$

$$x(19) = 1$$

$$x(20) = 1$$

$$x(21) = 2$$

$$x(22) = 0$$

$$x(23) = 0$$

$$x(24) = 0$$

Tento poslední model, byl použit při optimalizaci sítě linek MHD v Českých Budějovicích, vypočítal minimální počet vozidel, tak aby byly zajištěny přepravní požadavky cestujících. Přiřadil 56 kloubových vozidel, což potlačí k ovlivnění komfortu přepravy.

Protože některým linkám přiřadil malý počet vozidel, budou na tyto linky nasazeny sólo vozy, které jsou dvojnásobného počtu než výsledný počet kloubových.

Sólo vozidla jsou použita u autobusových linek č. 5, 6, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 20 a 21. Kloubové autobusy na linkách č. 1, 7 a 8.

Jak už bylo zmíněno, trolejbusový vozidlový park se skládá pouze z vozidel kloubových. Jedná se o linky č. 2, 3, 9, 14 a 16.

Všechny uvedené výsledky jsou shrnuty a znázorněny v tabulce č. 4.5 a 4.6.

4.6 Celkové zhodnocení výsledků

Tab. č. 4.5: Celkové zhodnocení výsledků

Linka č.	Původní síť linek bez úprav			Upravená síť linek s úpravou linek		
	Model č.1 [počet míst za hodinu]	Model č.2 [počet vozidel]		Model č.1 [počet míst za hodinu]	Model č.2 [počet vozidel]	
		k ₁ =50	k ₂ =100		k ₁ =50	k ₂ =100
1	440,4		7	449,5		7
2	566,7		9	578,3		9
3	1042		10	1063,5		10
4	-	1		-	-	-
5	30,4	1		31	2	
6	304		5	119,3	4	
7	344		5	350,8		5
8	257		4	262,5		4
9	687,5		9	701,6		10
10	143,4		3	146,4		3
11	343	9		350		5
12	90,4	3		92,3	2	
13	182,4	5		186,2	5	
14	749,1		7	764,5		7
15	127,8	4		47,7	1	
16	300,9		2	307,1		2
17	334,4	11		341,3	11	
18	299,3		4	305,5		3
19				82,7	2	
20				-	1	
21				190	5	
22				-	-	-
23				-	1	
24				-	-	-
Hodnota ÚF	y = 1,55891	y = 1,51383		y = 1,59097	y = 1,53264	

Tab. č. 4.6: Celkové zhodnocení výsledků

Linka č.	Stávající počet vozidel		Model č.3 [počet vozidel]	
	k ₁ =50	k ₂ =100	k ₁ =50	k ₂ =100
1		9		4
2		11		6
3		9		7
4		2	-	-
5	2		2	
6	7		4	
7		8		4
8		6		3
9		7		6
10	4		4	
11		7	6	
12	4		-	-
13	2		5	
14		4		5
15	3		-	-
16		6		4
17	5		6	
18	2		4	
19			2	
20			2	
21			4	
22			-	
23			-	
24			-	
Hodnota ÚF	<i>C = 98vozidel</i>		<i>C = 78vozidel</i>	
	<i>y = 0,815348</i>		<i>y = 1.00719</i>	

5 Návrh sítě linek

Při návrhu nové sítě linek se vychází z modelu č. 3. Z výsledků tohoto modelu je patrné, že dochází ke snížení počtu použitých vozidel a k navýšení účelové funkce (y – viz tab. č. 4.4). Oproti stávajícího stavu na původní síť bylo v pracovních dnech nasazováno do provozu celkem 98 vozidel, na novou síť model č.3 určil, že minimální počet vozidel, které by měly být na linkách nasazeny je 78, což je o 20 vozidel méně vozidel. Počty vozidel na jednotlivých linkách tedy mohou být navýšena z důvodů lepšího linkového intervalu, který bude vyhovovat jak dopravnímu podniku, tak cestujícím.

V této kapitole bude navržena síť linek, ve které budou jak stávající, tak nově navržené linky. Navržená síť linek je znázorněna v příloze č. 27.

Pro každou linku bude určený linkový interval dopravy, který se vypočítá podle vztahu:

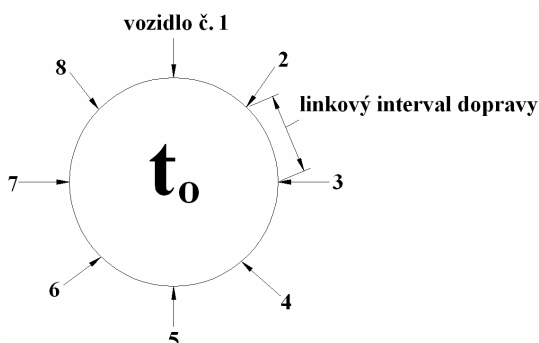
$$i = \frac{t_o}{N_l} [\text{min}], \text{ kde:} \quad (5.1)$$

i ... linkový interval dopravy [min],

t_o ... oběžná doba linky [min],

N_l ... počet vozidel (souprav) zařazených v provozu na lince v oběhu [–].

Linkový interval je definován jako časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími spoji stejné linky v jednom přepravním směru měřený v profilu dopravní cesty [3].



Obr. č. 5.1 Rozložení vozidel v oběžné době na lince – vytvoření linkového intervalu dopravy [3]

Pro výpočet linkového intervalu je třeba znát počet vozidel nasazených na linku, který se určil z modelu č. 3 (viz tab. č. 4. 4.) v předchozí kapitole, dále oběžnou dobu spoje pro všechny linky. Tato doba je shrnutá v tabulce č. 5.1.

Tab. č. 5.1 oběžná doba linek

Linka č.	Oběžná doba linky [min]	Linka č.	Oběžná doba linky [min]
1	100	11	80
2	100	13	80
3	60	14	60
5	70	16	60
6	110	17	90
7	90	18	60
8	80	19	60
9	80	20	70
10	110	21	70

5.1 Autobusové linky

Linka č. 1

Obsluhu linky provádí čtyři. Kapacita vozidla je 100 míst. Linkový interval této linky je:

$$i_1 = \frac{t_{ol}}{N_1} = \frac{100}{4}$$

$$i_1 = 25 \text{ min}$$

Tento vypočtený interval není vhodný, protože je pro cestující těžko zapamatovatelný. Přidáním jednoho vozidla se linkový interval změní na:

$$i_1 = \frac{t_{ol}}{N_1} = \frac{100}{5}$$

$$i_1 = 20 \text{ min}$$

Dvacet minut je dobře zapamatovatelný interval.

Linka č. 5

Obsluha bude prováděna dvěma vozidly, která jsou zařazena na této lince a mají kapacitu 50 míst. Linkový interval této linky je:

$$i_5 = \frac{t_{o5}}{N_5} = \frac{70}{2}$$
$$i_5 = 35 \text{ min}$$

Přestože interval není ideální a je netradiční, nebudeme upravovat počet vozidel, protože se jedná o zaměstnaneckou linku, která jezdí jen občas podle potřeby.

Linka č. 6

Počet vozidel zařazených do provozu na této lince jsou čtyři s kapacitou 50 míst. Linkový interval je:

$$i_6 = \frac{t_{o6}}{N_6} = \frac{110}{4}$$
$$i_6 = 27,5 \cong 30 \text{ min}$$

Linka č. 7

Počet vozidel zařazených do provozu na této lince jsou čtyři s kapacitou 100 míst. Linkový interval je:

$$i_7 = \frac{t_{o7}}{N_7} = \frac{90}{4}$$
$$i_7 = 22,5 \cong 25 \text{ min}$$

Interval není vhodný, navýšením o jedno vozidlo se interval změní na:

$$i_7 = \frac{t_{o7}}{N_7} = \frac{90}{5}$$
$$i_7 = 18 \cong 20 \text{ min}$$

Linka č. 8

Obsluha této linky je prováděna třemi vozidly s kapacitou 100 míst. Linkový interval je:

$$i_8 = \frac{t_{o8}}{N_8} = \frac{80}{3}$$
$$i_8 = 26,6 \cong 30 \text{ min}$$

Linka č. 10

Obsluha této linky je prováděna čtyřmi vozidly s kapacitou 50 míst. Linkový interval je:

$$i_{10} = \frac{t_{o10}}{N_{10}} = \frac{110}{4}$$
$$i_{10} = 27,5 \cong 30 \text{ min}$$

Linka č. 11

Počet vozidel zařazených na této lince je šest s kapacitou 50 míst.

Linkový interval je:

$$i_{11} = \frac{t_{o11}}{N_{11}} = \frac{80}{6}$$
$$i_{11} = 13,3 \cong 15 \text{ min}$$

Linka č. 13

Počet vozidel zařazených do provozu na této lince je pět s kapacitou 50 míst.

Linkový interval je:

$$i_{13} = \frac{t_{o13}}{N_{13}} = \frac{80}{5}$$
$$i_{13} = 16 \cong 20 \text{ min}$$

Interval sice vyhovuje, ale protože se jedná o zatíženější linku a z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že se přidá jedno vozidlo. Linkový interval je pak:

$$i_{13} = \frac{t_{o13}}{N_{13}} = \frac{80}{6}$$
$$i_{13} = 13,3 \cong 15 \text{ min}$$

Linka č. 17

Obsluhu provádí šest vozidel zařazených do provozu na této lince. Kapacita vozidla je 50 míst. Linkový interval je:

$$i_{17} = \frac{t_{o17}}{N_{17}} = \frac{90}{6}$$
$$i_{17} = 15 \text{ min}$$

Linka č. 18

Obsluha této linky je prováděna čtyřmi vozidly, která jsou zařazena na této lince a mají kapacitu 50 míst. Linkový interval je:

$$i_{18} = \frac{t_{o18}}{N_{18}} = \frac{60}{4}$$
$$i_{18} = 15 \text{ min}$$

Linka č. 19

Jedná se o nově navrženou linku, na které jsou zařazeny dva vozy s kapacitou 50 míst. Linkový interval je:

$$i_{19} = \frac{t_{o19}}{N_{19}} = \frac{60}{2}$$
$$i_{19} = 30 \text{ min}$$

Linka č. 20

Počet vozidel, která jsou zařazena na této nové lince, jsou dva vozy s kapacitou 50 míst. Linkový interval této linky je:

$$i_{20} = \frac{t_{o20}}{N_{20}} = \frac{70}{2}$$
$$i_{20} = 35 \text{ min}$$

Linkový interval nevyhovuje. Přidáním jednoho vozidla se interval zkrátí:

$$i_{20} = \frac{t_{o20}}{N_{20}} = \frac{70}{3}$$
$$i_{20} = 23,3 \cong 30 \text{ min}$$

Linka č. 21

Obsluha této nové linky je prováděna čtyřmi vozidly kapacitu 50 míst. Linkový interval je:

$$i_{21} = \frac{t_{o21}}{N_{21}} = \frac{70}{4}$$
$$i_{21} = 17,5 \cong 20 \text{ min}$$

Interval je sice vyhovující, ale protože se jedná o nově navrženou linku, u které se předpokládá větší poptávka ze strany cestujících, bude navýšen počet vozidel.

$$i_{21} = \frac{t_{o21}}{N_{21}} = \frac{70}{5}$$

$$i_{21} = 14 \cong 15 \text{ min}$$

5.2 Trolejbusové linky

Linka č. 2

Obsluhu provádí šest vozidel zařazených do provozu na této lince. Kapacita vozidla je 100 míst. Linkový interval je:

$$i_2 = \frac{t_{o2}}{N_2} = \frac{100}{6}$$

$$i_2 = 16,6 \cong 20 \text{ min}$$

Tato linka je velice zatížená. Přidáním jednoho vozidla se interval změní na:

$$i_2 = \frac{t_{o2}}{N_2} = \frac{100}{7}$$

$$i_2 = 14,3 \cong 15 \text{ min}$$

Linka č. 3

Obsluhu provádí sedm vozidel zařazených do provozu na této lince. Kapacita vozidla je 100 míst. Linkový interval této linky je:

$$i_3 = \frac{t_{o3}}{N_3} = \frac{60}{7}$$

$$i_3 = 8,57 \cong 10 \text{ min}$$

Tato linka je velice zatížená. Přidáním jednoho vozidla se interval změní na:

$$i_3 = \frac{t_{o3}}{N_3} = \frac{60}{8}$$

$$i_3 = 7,5 \text{ min}$$

Linka č. 9

Počet vozidel zařazených do provozu na této lince je šest s kapacitou 100 míst. Linkový interval je:

$$i_9 = \frac{t_{o9}}{N_9} = \frac{80}{6}$$
$$i_9 = 13,3 \cong 15 \text{ min}$$

Tato linka je velice zatížená. Přidáním dvou vozidel se interval změní na:

$$i_9 = \frac{t_{o9}}{N_9} = \frac{80}{8}$$
$$i_9 = 10 \text{ min}$$

Linka č. 14

Počet vozidel zařazených do provozu na této lince je pět s kapacitou 100 míst. Linkový interval této linky je:

$$i_{14} = \frac{t_{o14}}{N_{14}} = \frac{60}{5}$$
$$i_{14} = 12 \text{ min}$$

Interval není vhodný. Navýšením o jedno vozidlo se interval změní na:

$$i_{14} = \frac{t_{o14}}{N_{14}} = \frac{60}{6}$$
$$i_{14} = 10 \text{ min}$$

Linka č. 16

Obsluha je prováděná čtyřmi vozidly zařazenými v provozu na této lince. Kapacita je 100 míst. Linkový interval je:

$$i_{16} = \frac{t_{o16}}{N_{16}} = \frac{60}{4}$$
$$i_{16} = 15 \text{ min}$$

Linkový interval se pohybuje v rozmezí od 7,5 do 35 minut. Nejkratší intervaly jsou na linkách č. 3, 9, 11, 14, 16, 17, 18 a 21 v rozmezí od 7,5 do 15 minut. Z příloh č. 8, 9, 13, 14, které znázorňují relativní obsazenost linek č. 3 a 9, je patrné, že jsou velice obsazené. Z těchto důvodů je časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími spoji stejné linky v jednom přepravním směru kratší (tzn. na lince budou jezdit vozidla častěji).

Na ostatních linkách je linkový interval v rozmezí od 20 do 35 minut. Všechny linkové intervaly a počty vozidel (souprav) zařazených v provozu na jednotlivých linkách jsou znázorněny v tabulce č. 5.2.

Tab. č. 5.2 Linkové intervaly na jednotlivých linkách

Linka č.	Počet vozidel	Linkový interval [min]	Linka č.	Počet vozidel	Linkový interval [min]
1	5	20	11	6	15
2	7	15	13	6	20
3	8	7,5	14	6	10
5	2	35	16	4	15
6	4	30	17	6	15
7	5	20	18	4	15
8	3	30	19	2	30
9	8	10	20	3	30
10	4	30	21	5	15

Z důvodu úprav některých linkových intervalů se navýšil celkový počet vozidel ze 78 na 88. Přidáním vozidel se ovlivní i hodnota účelové funkce, která po dosažení se zvýší z hodnoty $y=1,00719$ na $y=1,02273$. V původní síti bylo denně nasazeno do provozu 98 vozidel. V rezervě zůstává ještě 10 vozidel.

6 Provozně-ekonomické vyhodnocení návrhu

V této kapitole budou využity informace z Ministerstva dopravy, které zveřejňuje pro každý kalendářní rok (v tomto případě pro rok 2011) ceny autobusů MHD. Jako typový autobus se použije nízkopodlažní kategorie do 13 m. Cena tohoto autobusu je 4 950 000 Kč [5].

Při optimalizaci nové sítě linek MHD v Českých Budějovicích je ušetřeno 10 vozidel oproti původní síti.

$$10 \text{ vozidel} \cdot \text{cena jednoho vozidla} = 10 \cdot 4\,950\,000 = 49\,500\,000 \text{ Kč}$$

V původní síti bylo nasazováno do provozu celkem 100 vozidel (včetně noční linky č. 50, se kterou se při optimalizaci nepočítalo). Na nově navrženou síť je potřeba nasadit 90 vozidel (včetně noční linky č. 50). V dopravním podniku České Budějovice dochází k obnově vozidel po 10 letech provozu [6]. Při dnešních počtu 100 vozidel musí každý rok obnovovat 10 vozidel, nově bude třeba obnovovat jen 9 vozidel ročně. Z toho plyne úspora jednoho vozidla ročně, tj. úspora 4 950 000 Kč ročně.

Ušetřených 10 vozidel znamená úsporu nákladů na mzdy min. 10 řidičů. Náklady na jednoho řidiče jsou 30 000 měsíčně [7].

$30\,000 \cdot 12 \cdot 1,1 = 396\,000 \text{ Kč} \cong 400\,000 \text{ Kč}$ ušetřených ročně za jednoho řidiče, kde konstanta:

12 ... charakterizuje počet měsíců,

1,1 ... empirická hodnota představující rezervu na dovolené a nemocenské.

$$400\,000 \cdot 10 \text{ vozidel} = 4\,000\,000 \text{ Kč} \text{ ušetřených ročně na platech řidičů.}$$

Náklady na údržbu (pneumatiky, mazivo atd.) jsou 3,40 Kč/km [7], při ročním proběhu vozidla 50 000 km [7] se ročně ušetří 170 000 Kč za jeden vůz, tj. 1 700 000 Kč za 10 vozidel.

Jelikož bylo docíleno efektivnějšího rozložení vozidel mezi jednotlivé linky, může dojít také k úspoře najetých kilometrů. Náklady na naftu jsou 10 Kč/km. Při ročním proběhu 50 000 km jednoho vozidla je úspora:

$$50\,000 \cdot 10 = 500\,000 \text{ Kč}, \text{ tj. } 500\,000 \cdot 10 = 5\,000\,000 \text{ Kč za 10 vozidel.}$$

Veškeré úspory, které závisí na ročním proběhu vozidla, jsou spekulativní, protože závisí na konstrukci jízdního řádu, a tím pádem na skutečně ujetých kilometrech.

Při snížení počtu vozidel ze 100 na 90 dopravní podnik ušetří 15 650 000 Kč ročně. Ušetřené náklady jsou shrnuty v tab. č. 6.1.

Tab. č. 6.1 Celkové ušetřené náklady

Položka	Ušetřené náklady za rok
Obnova vozového parku	4 950 000 Kč
Náklady na mzdy řidičů	4 000 000 Kč
Údržba vozidel	1 700 000 Kč
Úspora najetých kilometrů	5 000 000 Kč
Celkem	15 650 000 Kč

7 Závěr

V úvodu diplomové práce byla provedena analýza sítě linek MHD a přepravního proudu. Z orientačního plánu města České Budějovice bylo patrné, že síť je velice rozmanitá, protože obsluhuje jak město, tak i okolní obce. Celkem 19 linek obsluhuje jednotlivé části města a přilehlých obcí a měst.

U jednotlivých linek byla popsána jejich trasa a byla znázorněna v orientačním plánu. Podle obsazenosti spojů bylo poukázáno na vytížené linky, kde požadavek cestujících je větší než kapacita dopravního prostředku, a také na málo využívané linky.

Při obecném popisu matematického modelu bylo provedeno zjednodušení sítě linek MHD a v této zjednodušené síti byly očíslovány hrany a následně na nich byla určena maximální intenzita cestujících, která byla stanovena z ranních nebo z odpoledních intenzit. Dále byl vytvořen textový soubor pro zjednodušení, ve kterém se nachází údaje potřebné pro matematické modely (počet linek na jednotlivých hranách, určení linek na jednotlivých hranách, přepravní intenzity cestujících za hodinu na jednotlivých hranách a oběžná doba linky). Pomocí tří matematických modelů byl proveden výpočet nejdříve na stávajících linkách bez úprav a pouze se zjednodušením sítě linek a poté byly navrženy nové linky a výpočet byl proveden znova.

První model rozmístil kapacitu vozového parku vyjádřenou v počtech míst na jednotlivé linky. Nejvíce míst přidělil tento model na linku č. 1, 2, 3, 9 a 14 s hodnotou minimální poměrné rezervy (v modelu se maximalizovala) $y = 1,54941$.

Druhý model přiřadil potřebný počet vozidel daného typu na jednotlivé linky. Nejvíce vozidel model přidělil na linky č. 1, 2, 3, 8, 9, 11, 14, 17 a 18 s hodnotou minimální poměrné rezervy (v modelu se maximalizovala) $y = 1,51383$.

Model č. 3 byl aplikován až po návrhu nových linek.

Návrh nových linek vycházel z linek původních, a to z linky č. 16, 12, 6 a 1. Celkový počet stávajících linek je 18 a nově navržených je 6, tj. linka č. 19, 20, 21, 22, 23 a 24. Celkem bylo tedy v modelu 24 linek.

Z výsledků modelu č. 1 vyplývá, že model přidělil místa na nově navržené linky č. 19 a 21 a na ostatní nové linky nepřidělil žádné místo stejně jako na původní linku č. 4. Hodnota minimální poměrné rezervy byla navýšena z hodnoty $y = 1,54941$ na $y = 1,58127$.

Z výsledků modelu č. 2 vyplývá, že tento model přidělil vozidla na nově navržené linky č. 19, 20 a 21. Žádné vozidlo nepřidělil na původní linku č. 4 a na zbývající nově navržené linky. Hodnota minimální poměrné rezervy byla navýšena z hodnoty $y = 1,51383$ na $y = 1,53398$.

Aby byla možnost porovnávat stávající síť a nově navrženou síť, byly dosazeny do modelu č. 2 počty vozidel, které jsou dnes nasazeny do provozu na jednotlivých linkách. Po aplikaci modelu byla zjištěna hodnota minimální poměrné rezervy původní sítě linek MHD $y = 0,815348$.

Při srovnání této hodnoty s hodnotou z modelu č. 2, kdy hodnota minimální poměrné rezervy u tohoto modelu je $y = 1,53398$, jde vidět, že na nově navržená síť má vyšší minimální poměrnou rezervu a z tohoto pohledu se dá říct, že je lepší.

Třetí model minimalizoval celkový počet použitých vozidel. Přiřadil 56 kloubových vozidel. Některým linkám model přidělil malý počet vozidel, proto budou na tyto linky nasazeny sólo vozy v dvojnásobném počtu. Po úpravě bude do provozu nasazeno 78 vozidel. V původní síti linek bylo provozováno 98 vozidel. Celkem je tedy použito o 20 vozidel méně než v předešlé původní síti linek.

Při návrhu nové sítě linek se vychází z modelu č. 3. Na každé lince byl určen linkový interval dopravy. Jestliže linkový interval nebyl vhodný, přidalo se vozidlo, a poté se určil nový vyhovující interval. Přidáním vozidel se zvýšil celkový počet použitých vozidel ze 78 na 88. V původní síti linek bylo denně nasazeno do provozu 98 vozidel. Stále je k dispozici navíc 10 vozidel.

V provozně-ekonomickém zhodnocení návrhu byly stanoveny roční úspory. Při snížení počtu vozidel ze 100 na 90 (včetně vozidel noční linky č. 50) dopravní podnik ušetří na nákladech na obnovu vozidel, mzdy, údržbu, na pneumatiky, maziva, na ujetých kilometrech.

Celkové ušetřené náklady za rok by byly 15 650 000 Kč.

Seznam použité literatury

- [1] Dopravní podnik města České Budějovice [online].[cit. 2010-10-14]. Dostupný z <http://www.dpmcb.cz/o-spolecnosti/historie/>
- [2] Dopravní podnik města České Budějovice [online].[cit. 2010-10-14]. Dostupný z <http://www.dpmcb.cz/o-spolecnosti/soucasna-mhd/>
- [3] SUROVEC, P. Provoz a ekonomika silniční dopravy I, Ostrava: VŠB -TU, 2000. 119s. ISBN 80 – 7078 – 735 – X
- [4] ČERNÝ, J., Kluvánek P. Základy matematickej teorie dopravy. Bratislava: VEDA –Vydavateľstvo slovenskej akademie vied, Bratislava. ISBN 80-224-0099-8
- [5] Ministerstvo dopravy [online].[cit. 2011-04-19]. Dostupný z <http://www.mdcr.cz/cs/Legislativa/Ekonomika+a+finance/Dopravci/>
- [6] FILIP, Radek: Osobní sdělení. Dopravní podnik města České Budějovice, a.s., České Budějovice. [2010-11-15]
- [7] ŠIRC, Jan. Osobní sdělení. Ostrava: VŠB – TU, 2010

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Ivaně Olívové, Ph.D, Ing. Janu Šircovi za poskytnutí odborných cenných rad, Mgr. Olze Hadvičkové za jazykovou korekturu. V neposlední řadě děkuji své rodině, přítelkyni a přátelům za trpělivost a ohleduplnost při tvorbě mé práce.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Orientační plán linek Dopravního podniku města České Budějovice [7]

Příloha č. 2 - Orientační plán nočních linek Dopravního podniku města České [7]

Příloha č. 3: Relativní obsazenost spoje č. 1 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č. 4 : Přepravní intenzita a trasa na lince 2 v síti MHD [7]

Příloha č. 5: Relativní obsazenost spoje č. 2 podle trasy (Borek – Rožnov) linky a denní doby [7]

Příloha č. 6: Relativní obsazenost spoje č. 2 podle trasy (Rožnov – Borek) linky a denní doby [7]

Příloha č. 7: Přepravní intenzita a trasa na lince 3 v síti MHD [7]

Příloha č. 8: Relativní obsazenost spoje č. 3 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č.9: Relativní obsazenost spoje č. 3 podle trasy (Nádraží – Máj Antonína Barcala) linky a denní doby [7]

Příloha č. 10: Relativní obsazenost spoje č. 4 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č. 11: Relativní obsazenost spoje č. 5 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č.12: Přepravní intenzita a trasa na lince 9 v síti MHD [7]

Příloha č. 13: Relativní obsazenost spoje č. 9 podle trasy (České Vrbné – Suché Vrbné) linky a denní doby [7]

Příloha č. 14: Relativní obsazenost spoje č. 9 podle trasy (Suché Vrbné - České Vrbné) linky a denní doby [7]

Příloha č.15: Relativní obsazenost spoje č. 11 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č.16: Relativní obsazenost spoje č. 13 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č.17: Relativní obsazenost spoje č. 16 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č.18: Relativní obsazenost spoje č. 19 podle trasy linky a denní doby [7]

Příloha č. 19. : Zjednodušená síť MHD České Budějovice [7]

Příloha č.20. : Zjednodušená síť linek MHD České Budějovice

Příloha č.21. : Přepravní intenzita na síti linek MHD od 6:00 do 9:00 [7]

Příloha č. 22. : Přepravní intenzita na síti linek MHD od 13:00 do 17:00 [7]

Příloha č. 23. : Určení maximální intenzity z ranních a odpoledních intenzit

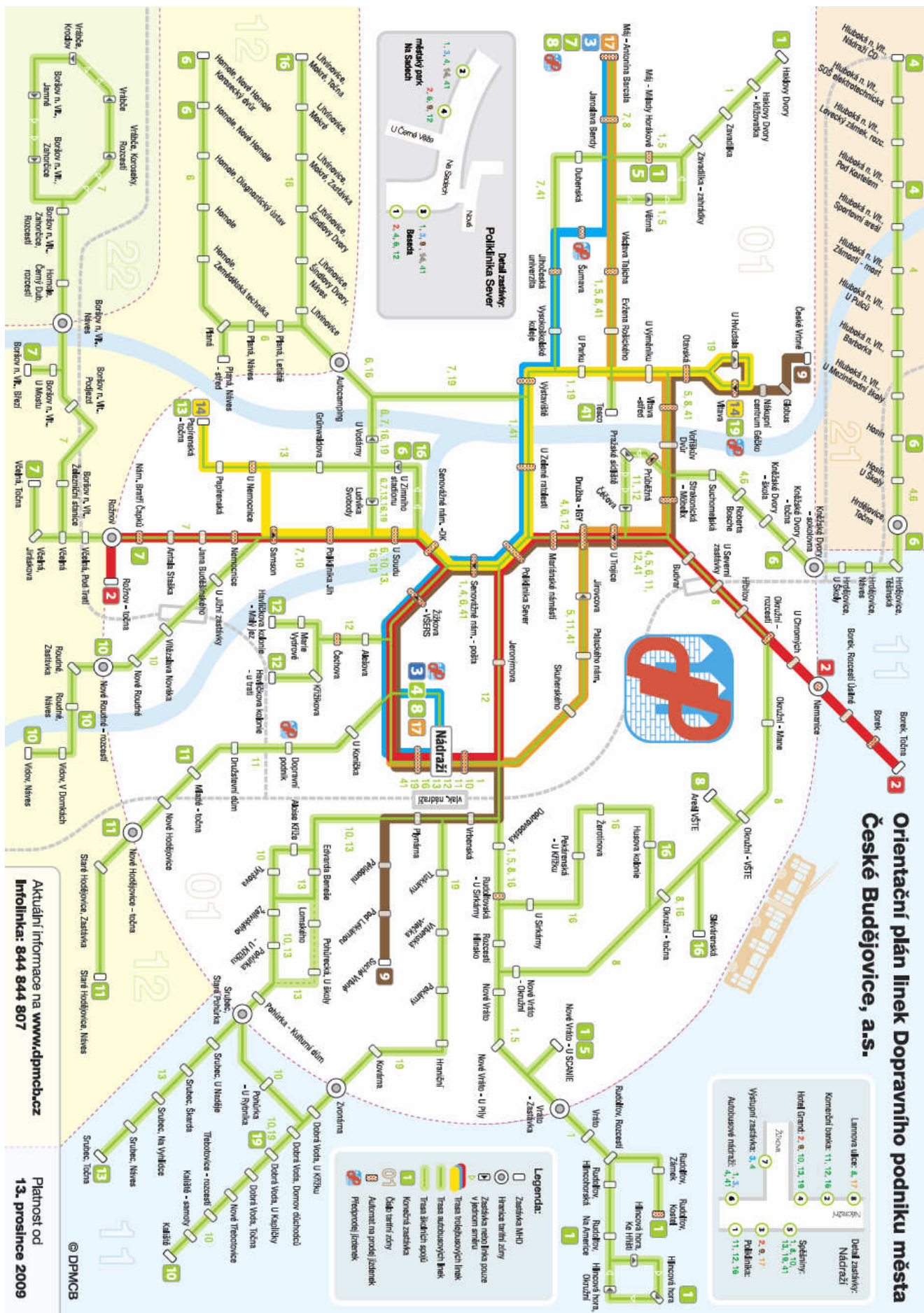
Příloha č. 24. : Maximální přepravní intenzita za hodinu na síti linek MHD

Příloha č. 25. : Textový soubor pro matematické modely

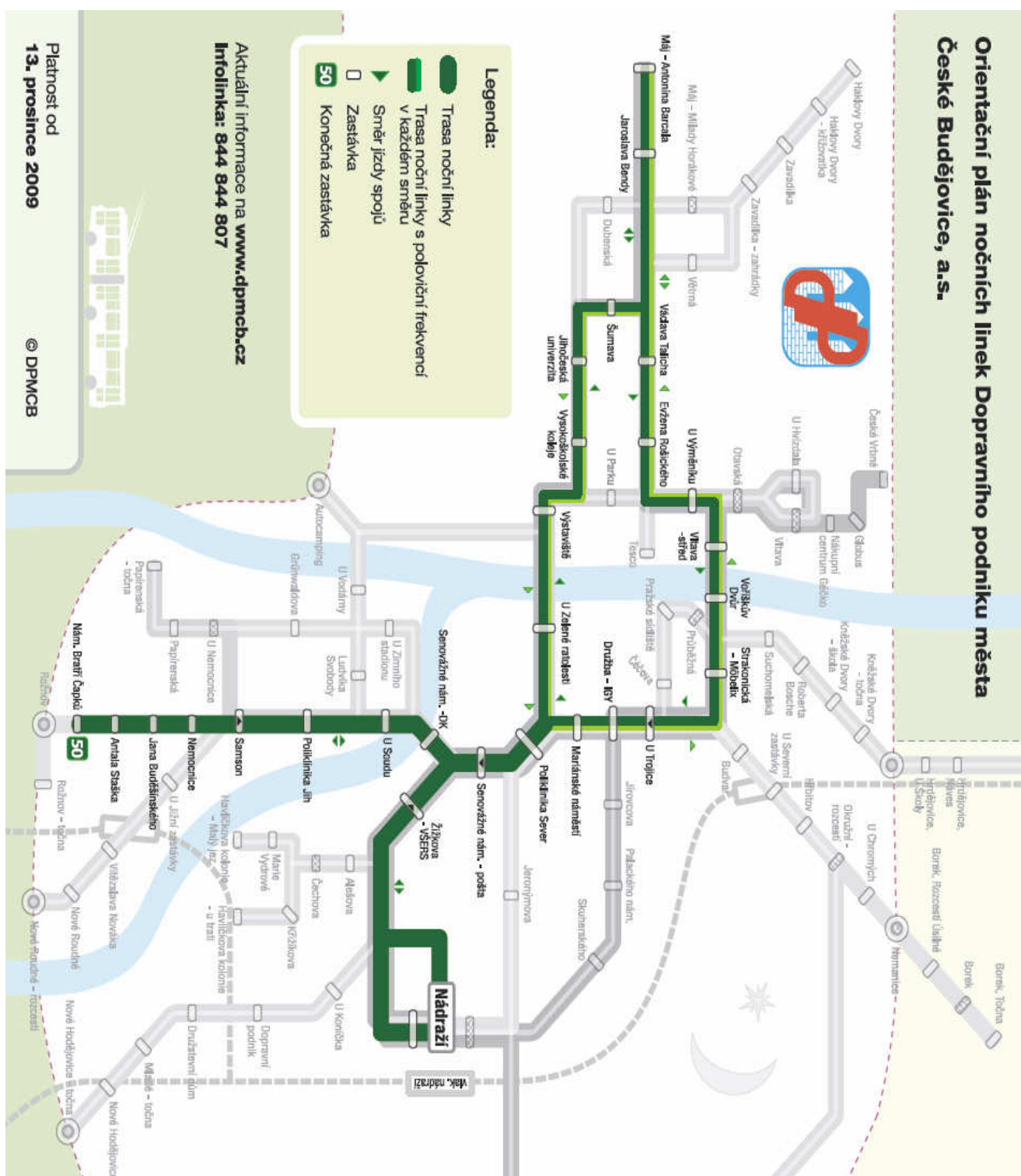
Příloha č. 26. : Schéma nově navržených linek

Příloha č. 27. : Schéma nové sítě linek MHD České Budějovice

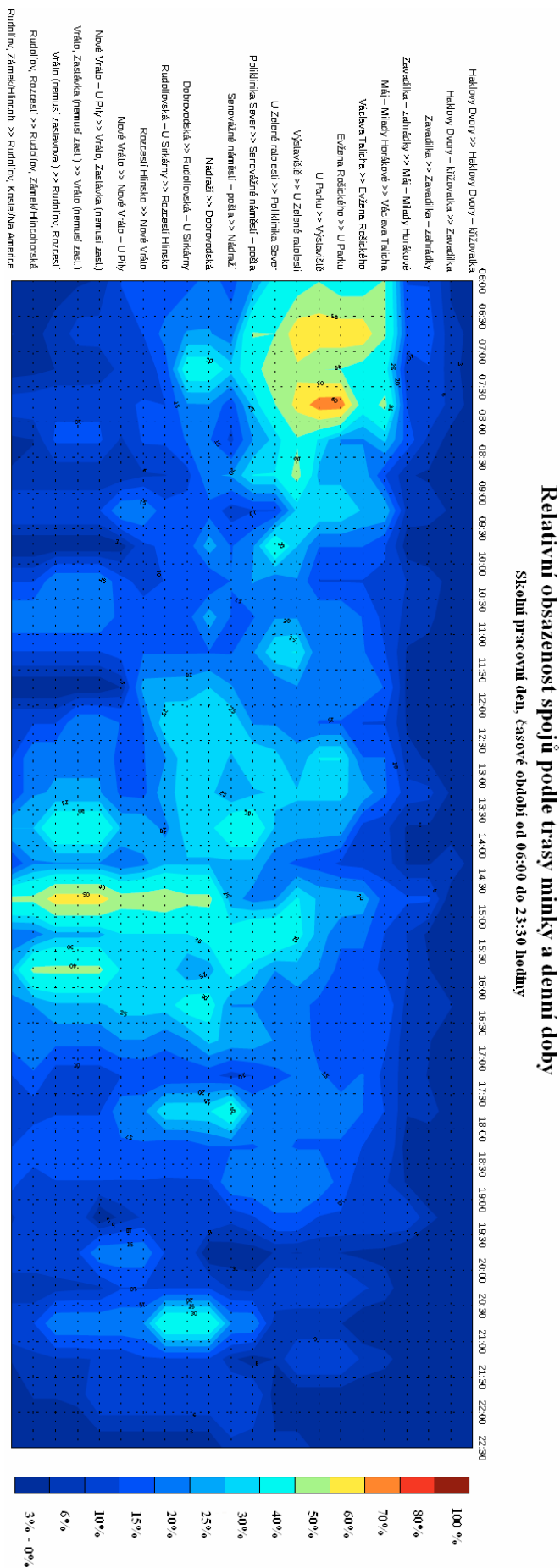
Příloha č. 1 - Orientační plán linek Dopravního podniku města České Budějovice [7]



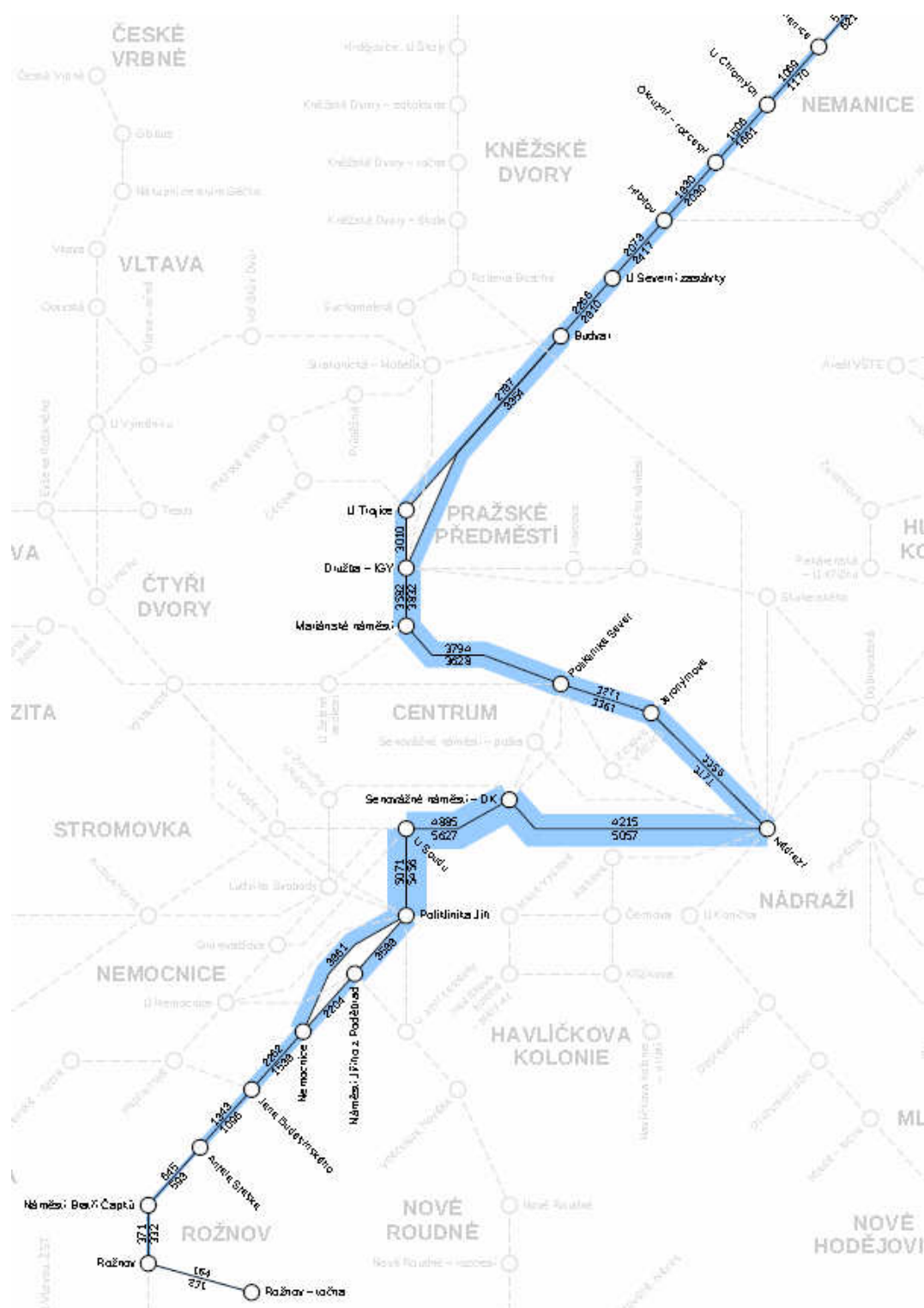
Příloha č. 2 - Orientační plán nočních linek Dopravního podniku města České [7]



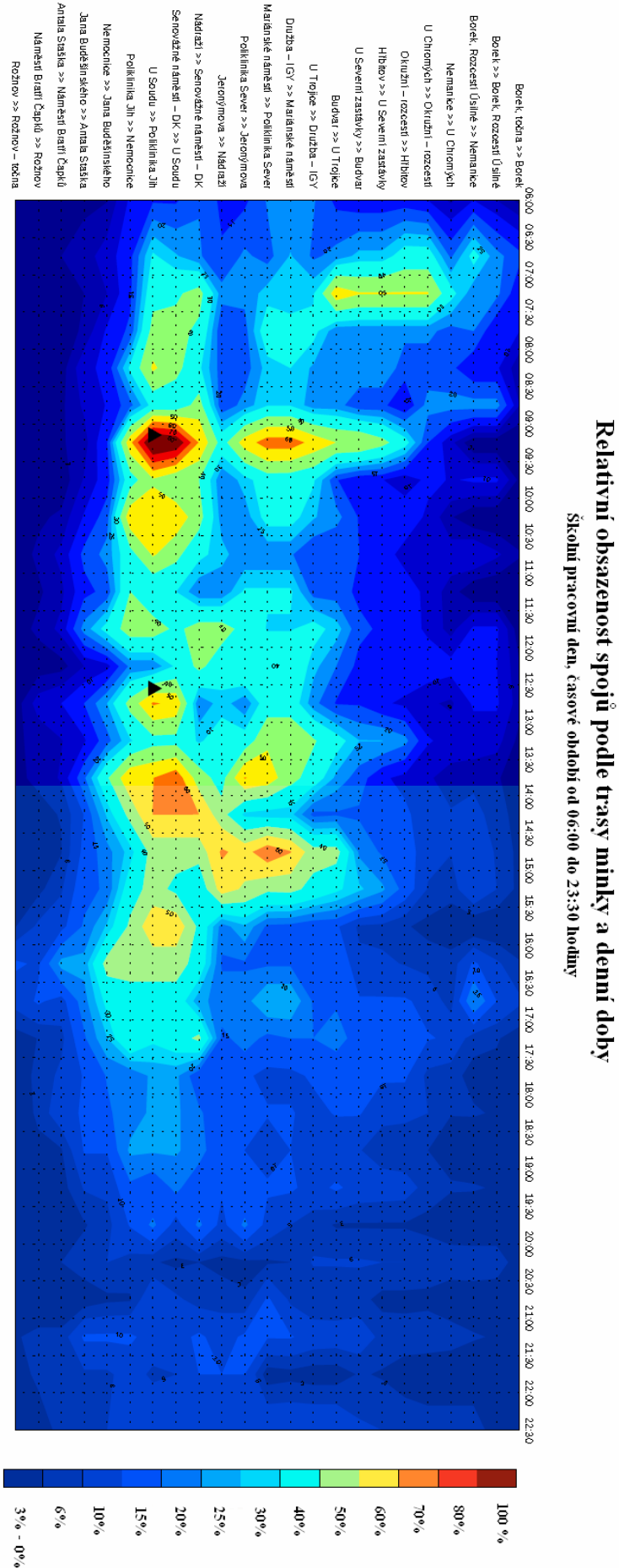
Příloha č. 3: Relativní obsazenost spoje č. 1 podle trasy linky a denní doby [7]



Příloha č. 4 : Převážná intenzita a trasa na lince 2 v síti MHD [7]

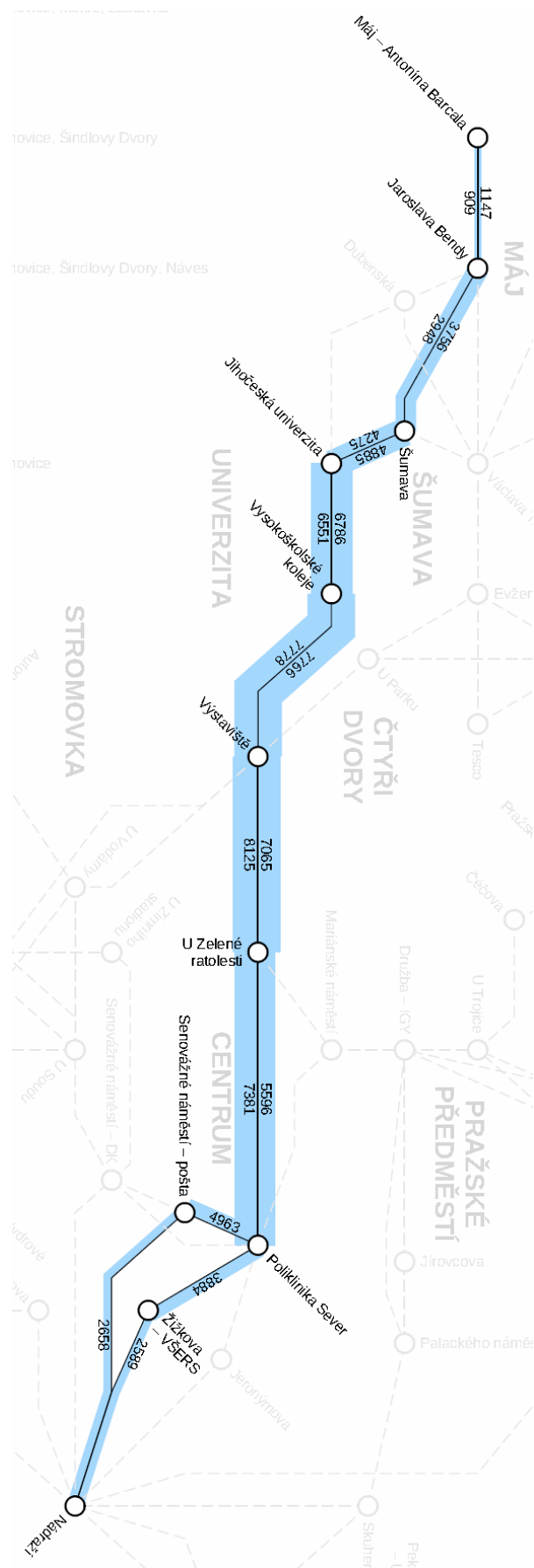


Příloha č. 5: Relativní obsazenost spoje č. 2 podle trasy (Borek – Rožnov) linky a denní doby [7]

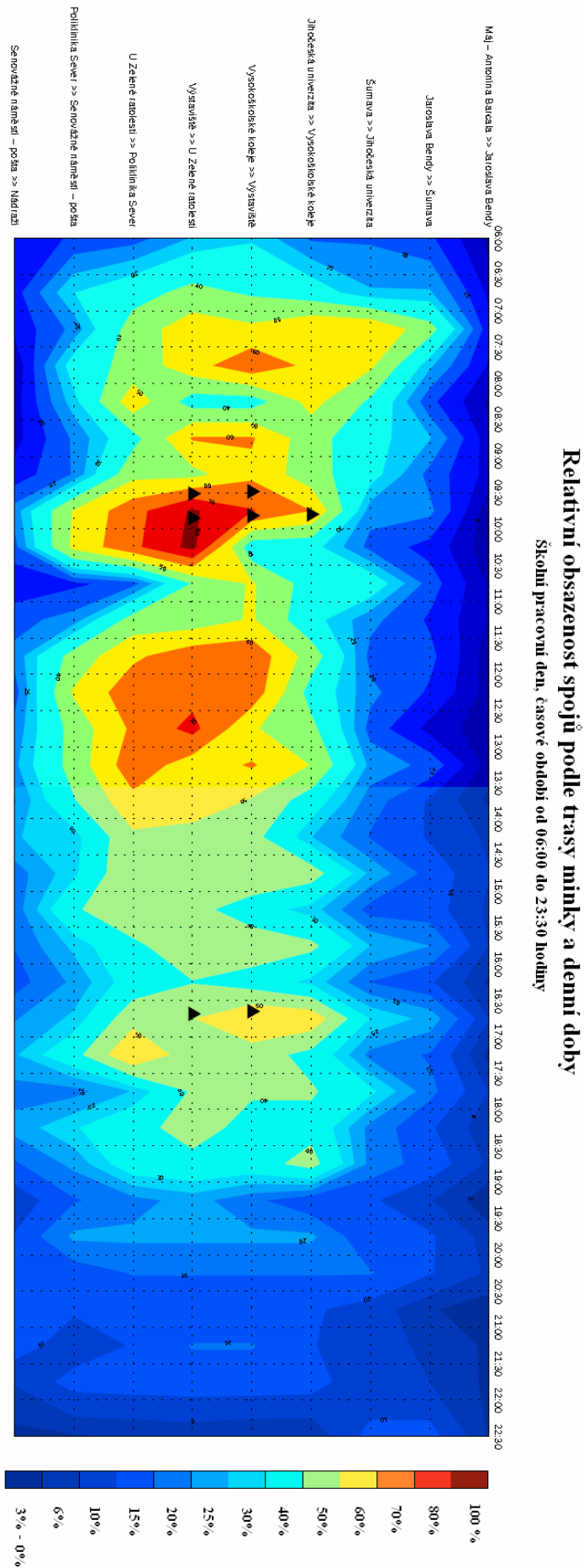


88

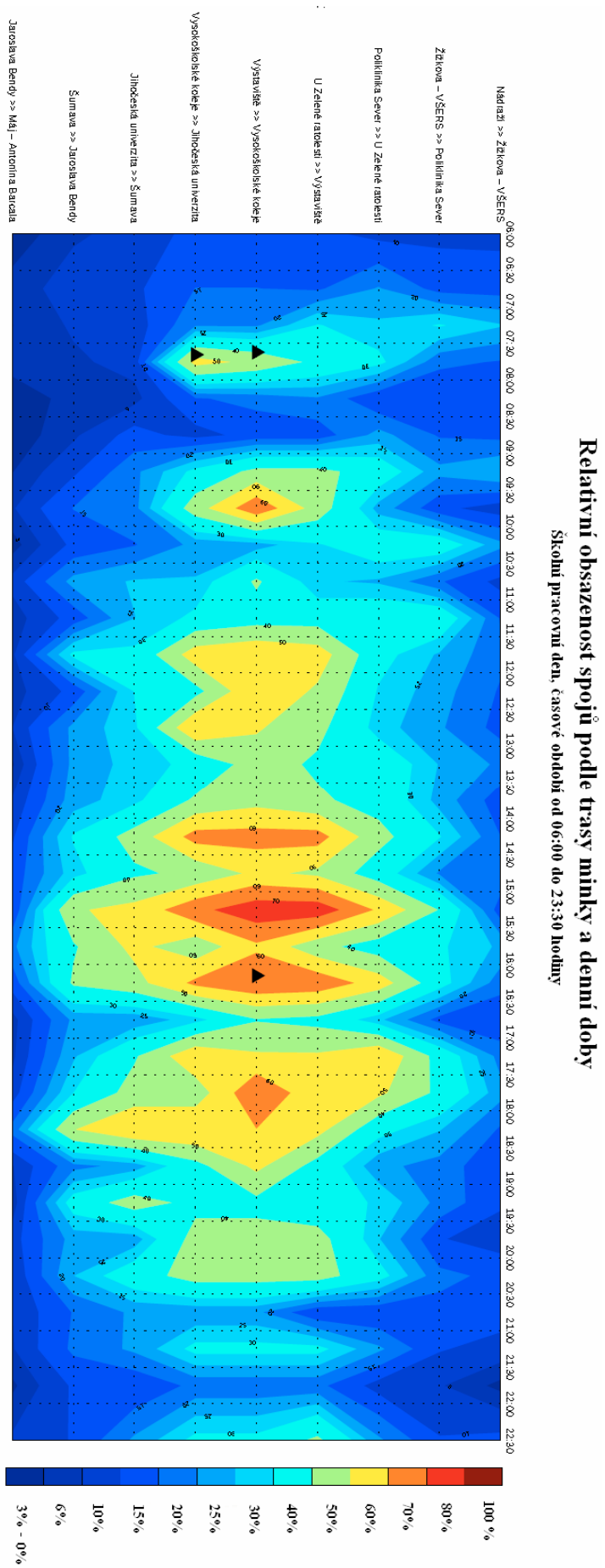
Příloha č. 7: Převpravní intenzita a trasa na lince 3 v síti MHD [7]



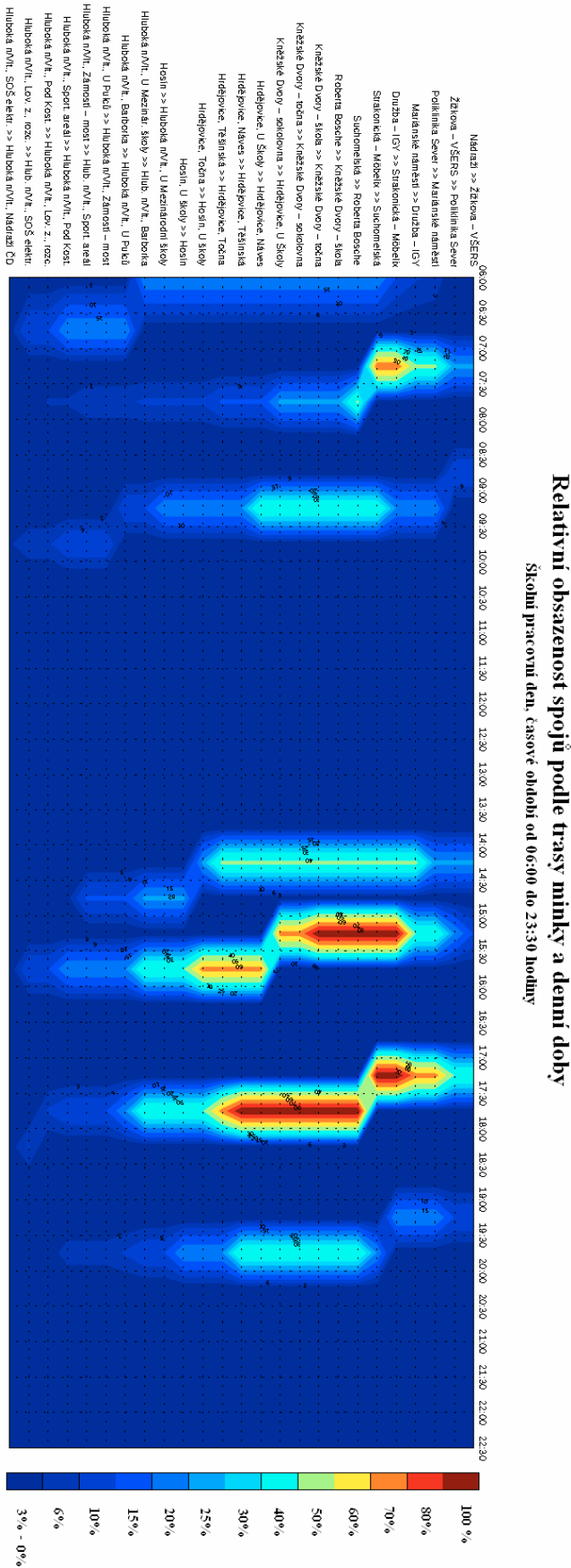
Příloha č. 8: Relativní obsazenost spoje č. 3 podle trasy linky a denní doby [7]



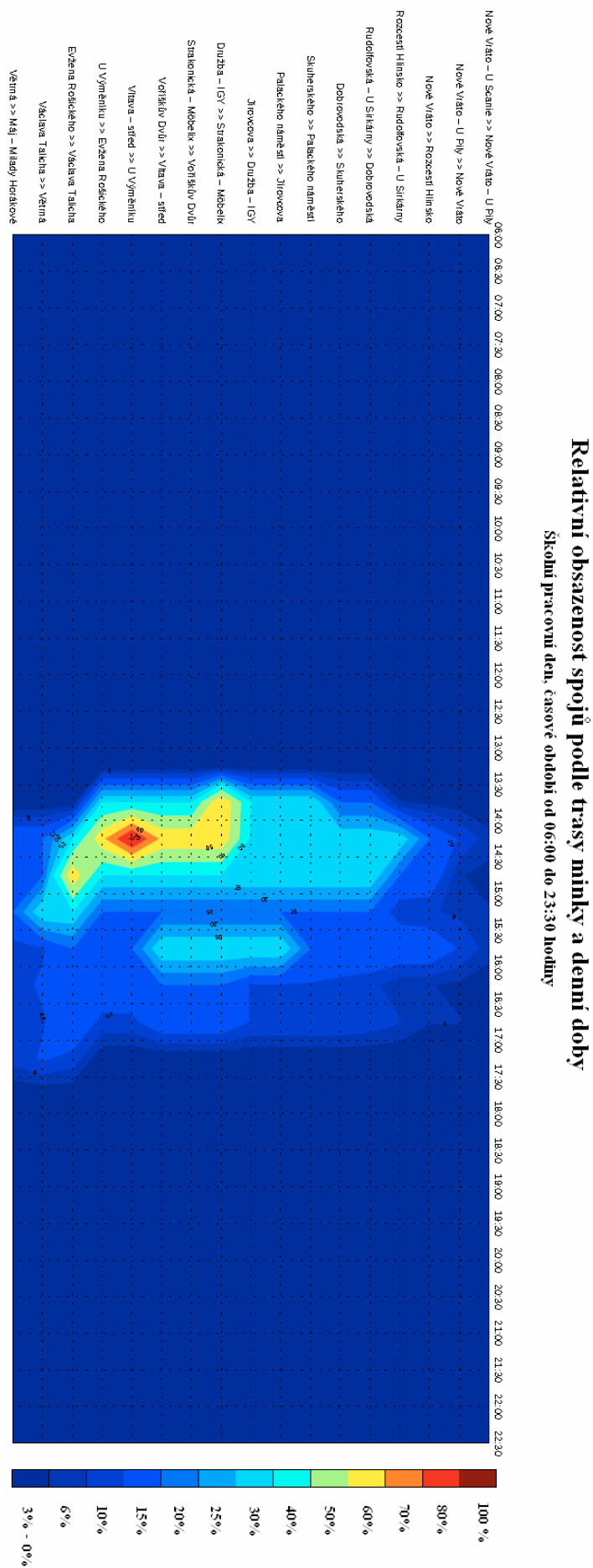
Příloha č.9: Relativní obsazenost spoje č. 3 podle trasy (Nádraží – Máj Antonína Barcala) linky a denní doby [7]



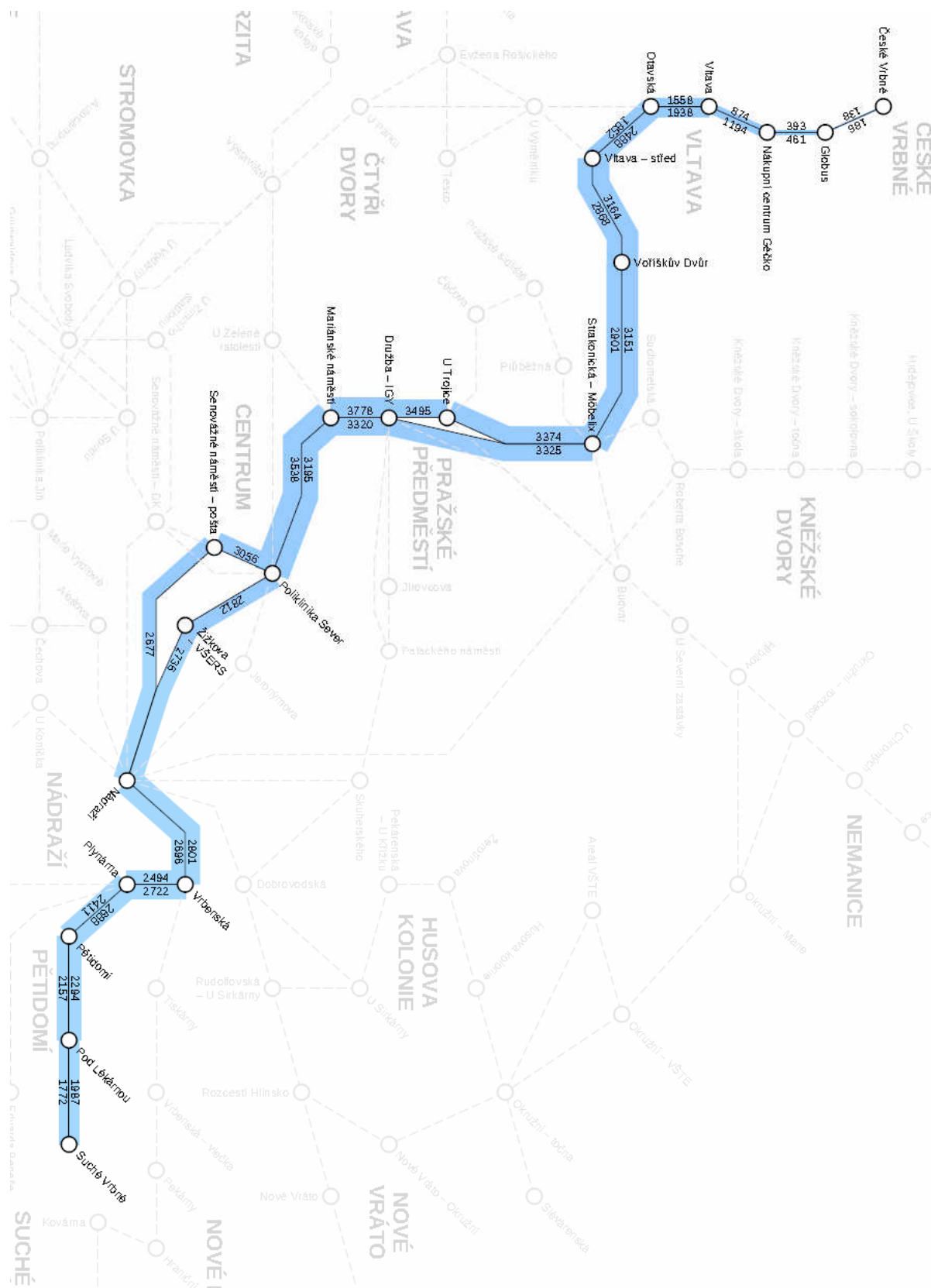
Příloha č. 10: Relativní obsazenost spoje č. 4 podle trasy linky a denní doby [7]



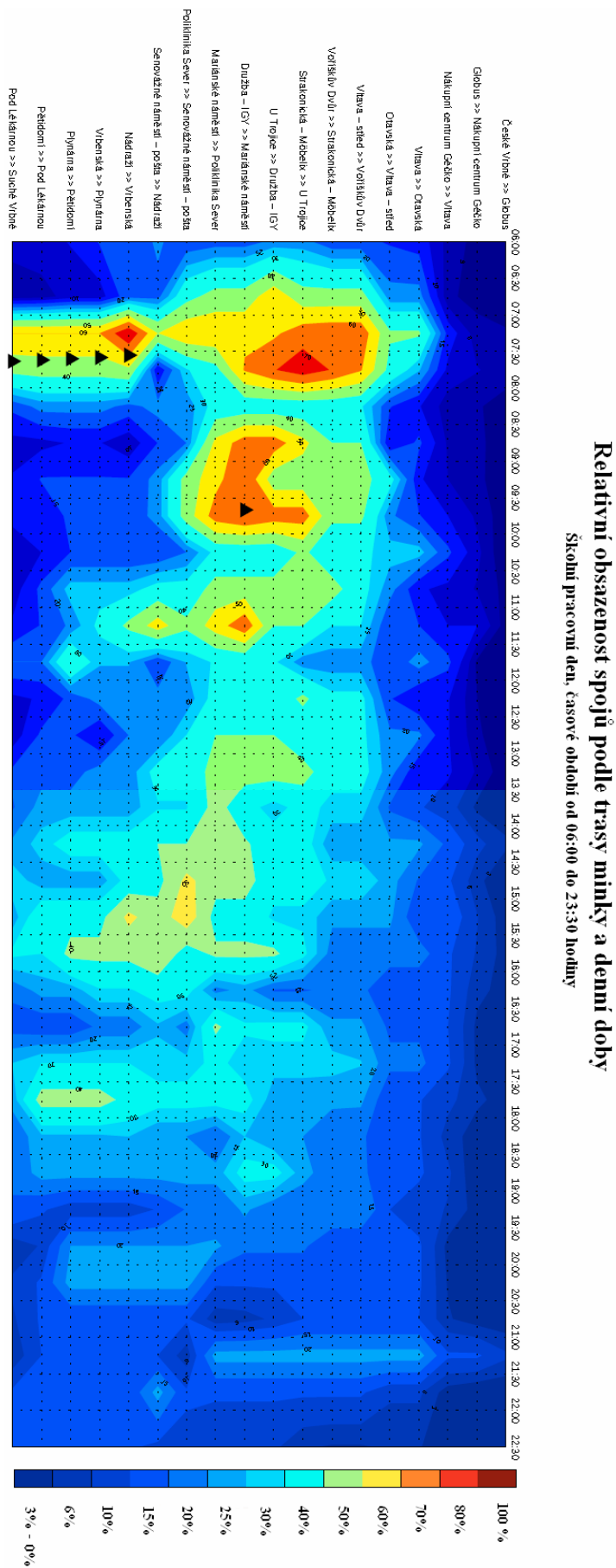
Příloha č. 11: Relativní obsazenost spoje č. 5 podle trasy linky a denní doby [7]



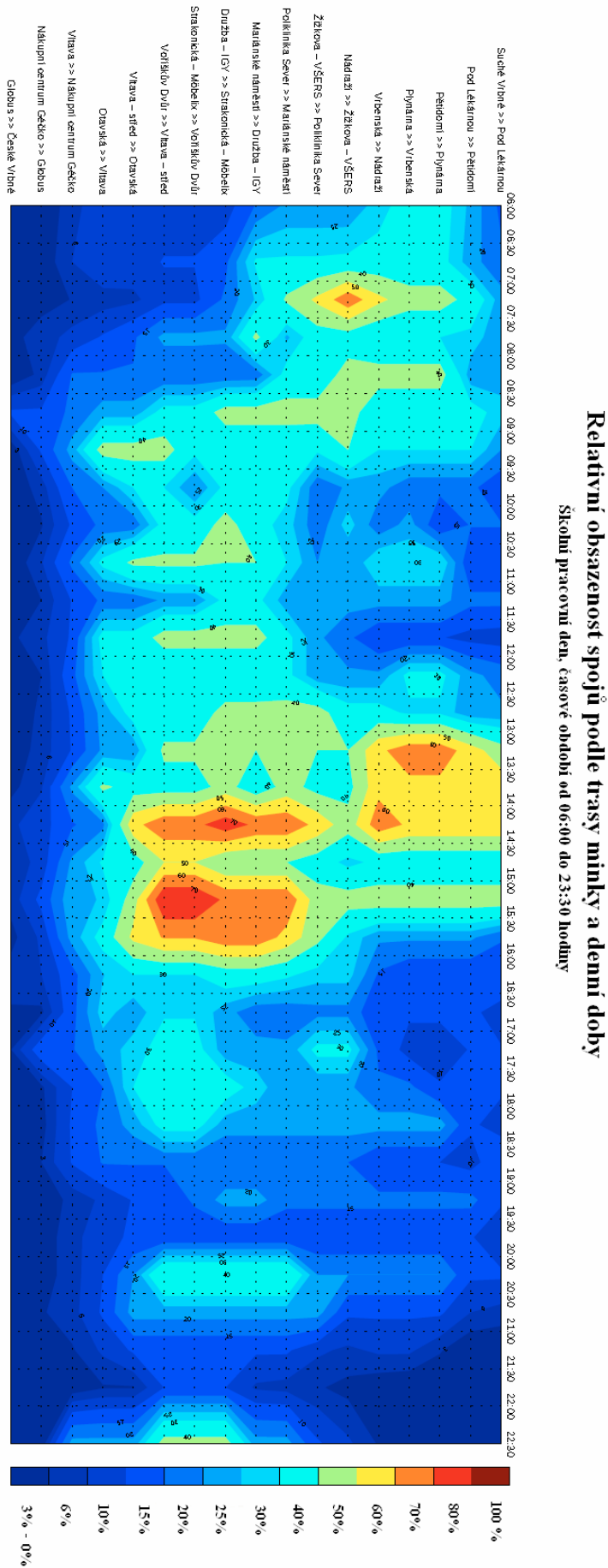
Příloha č.12: Převážná intenzita a trasa na lince 9 v síti MHD [7]



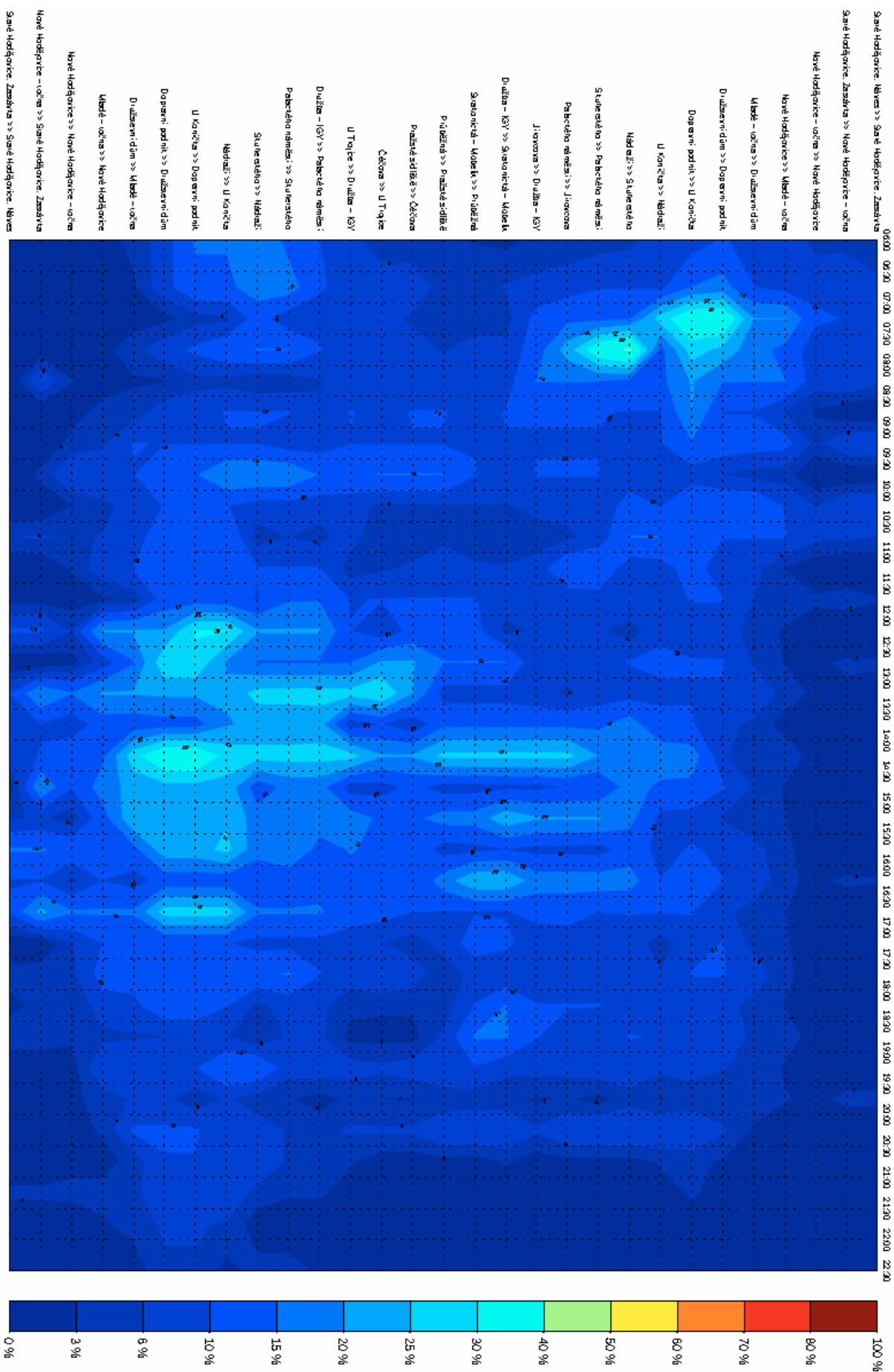
Příloha č. 13: Relativní obsazenost spoje č. 9 podle trasy (České Vrbné – Suché Vrbné) linky a denní doby [7]



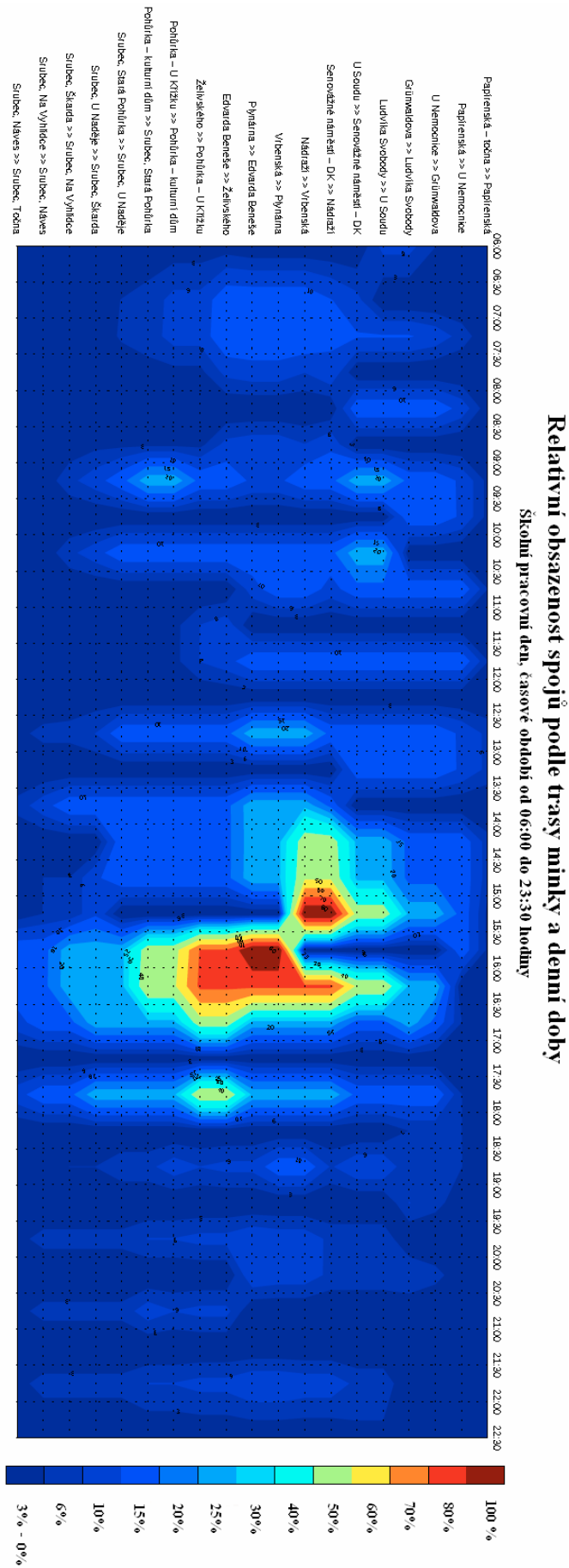
Příloha č. 14: Relativní obsazenost spoje č. 9 podle trasy (Suché Vrbné - České Vrbné) linky a denní doby [7]



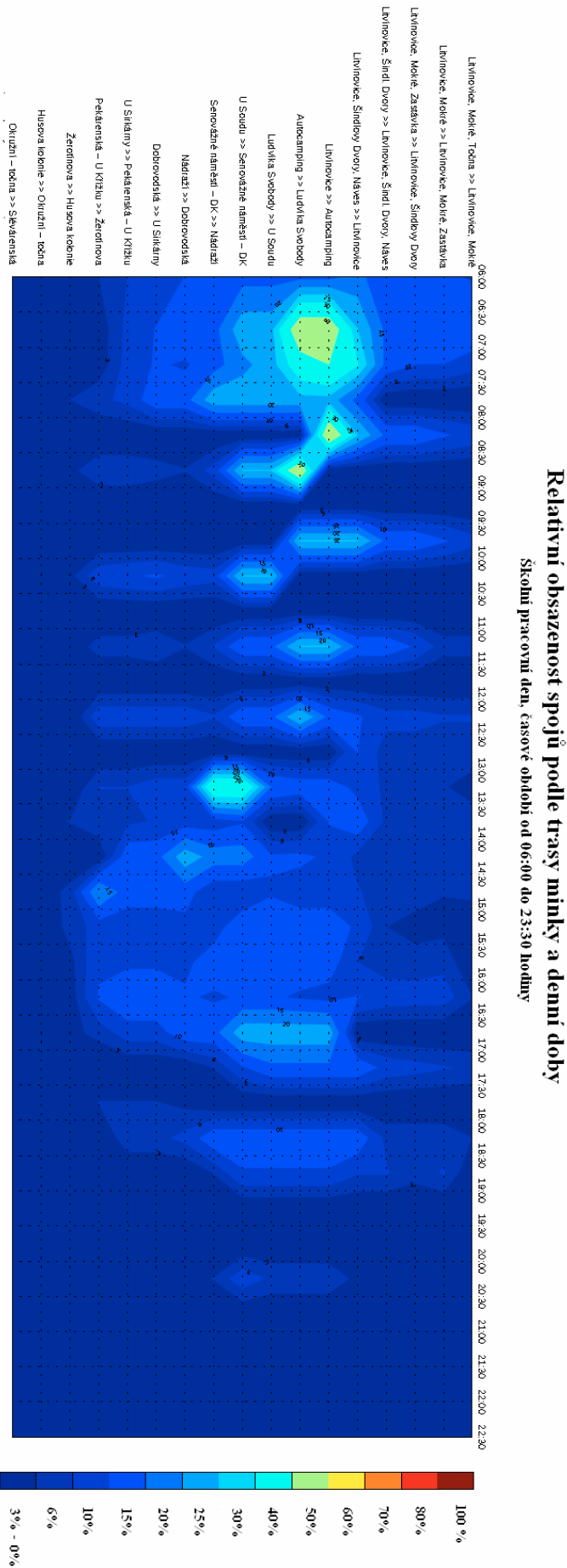
Relativní obsazenost spojů podle trasy linky a denní doby Školení pracovní den, časové období od 06:00 do 22:30 hodin, časové rozlišení 30 minut pro vykreslení grafu



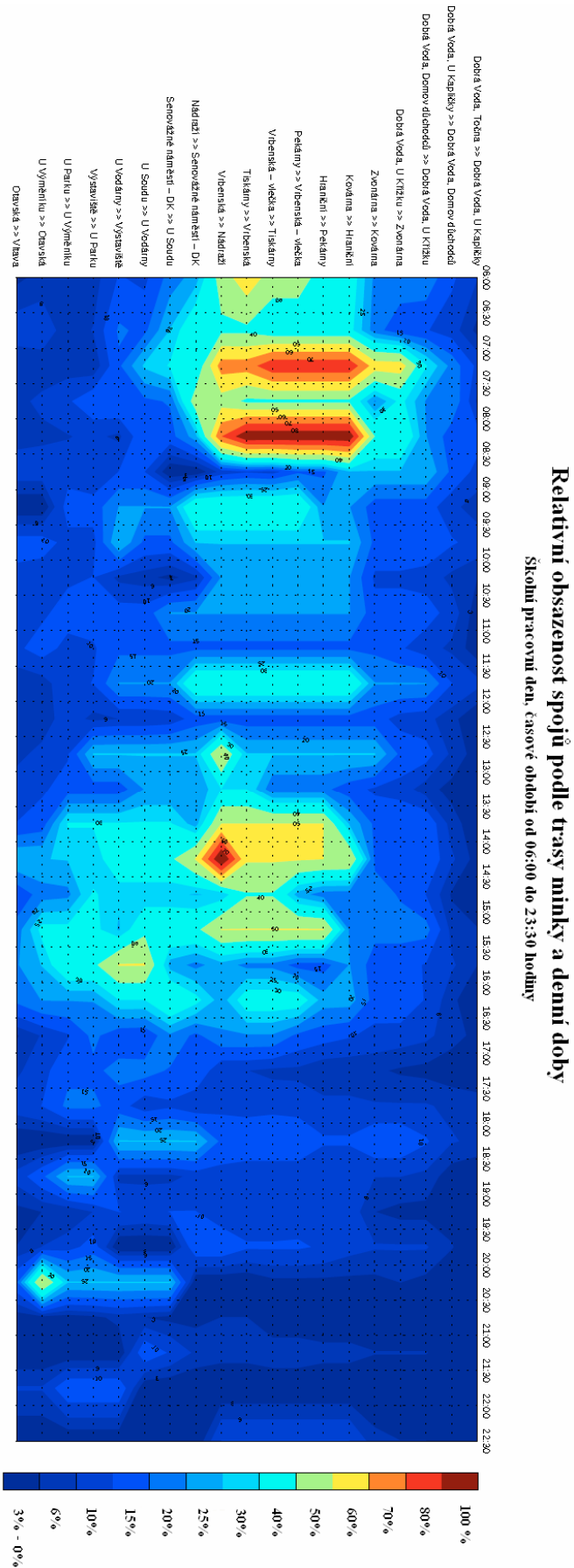
Příloha č.16: Relativní obsazenost spoje č. 13 podle trasy linky a denní doby [7]



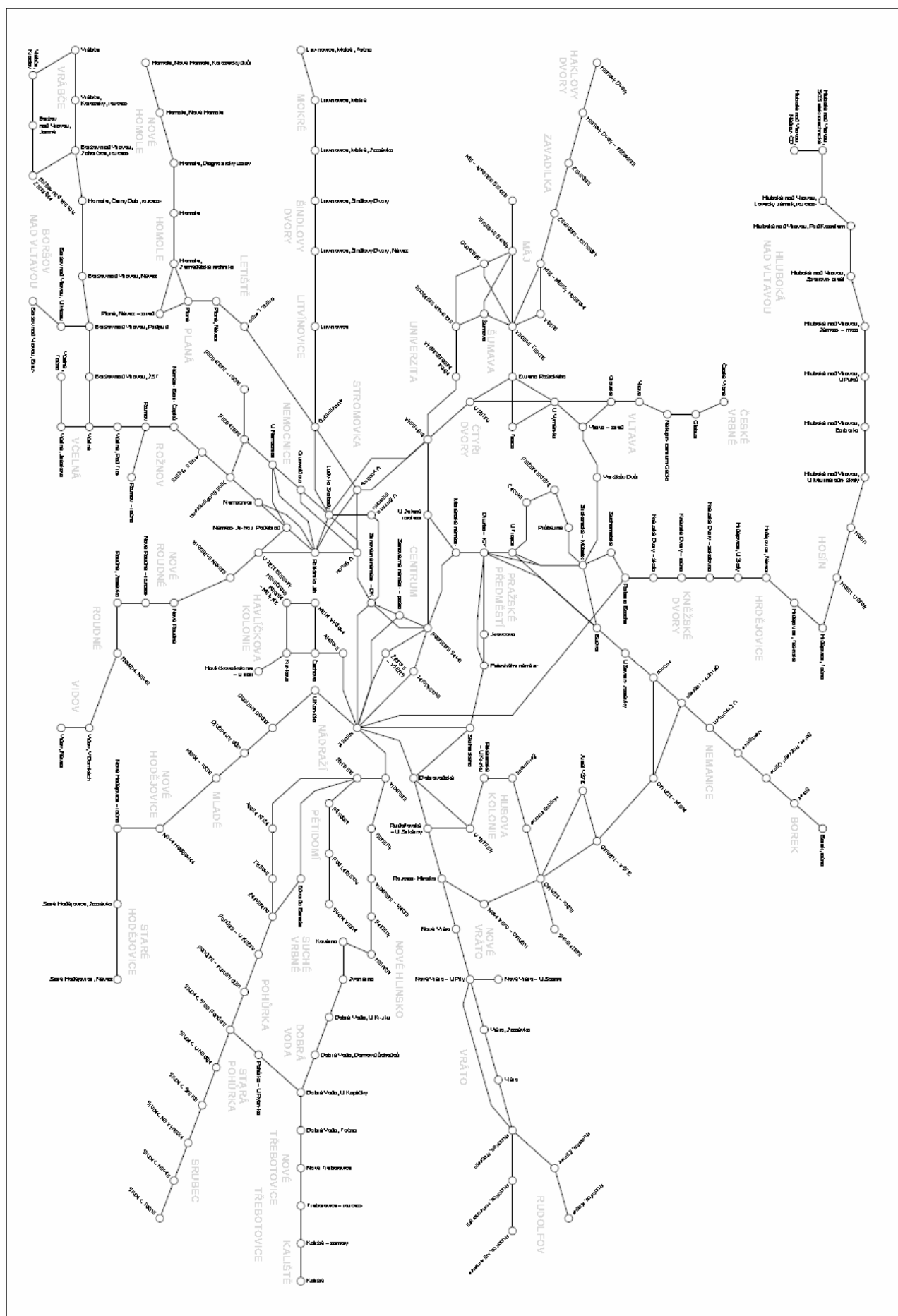
Příloha č.17: Relativní obsazenost spoje č. 16 podle trasy linky a denní doby [7]



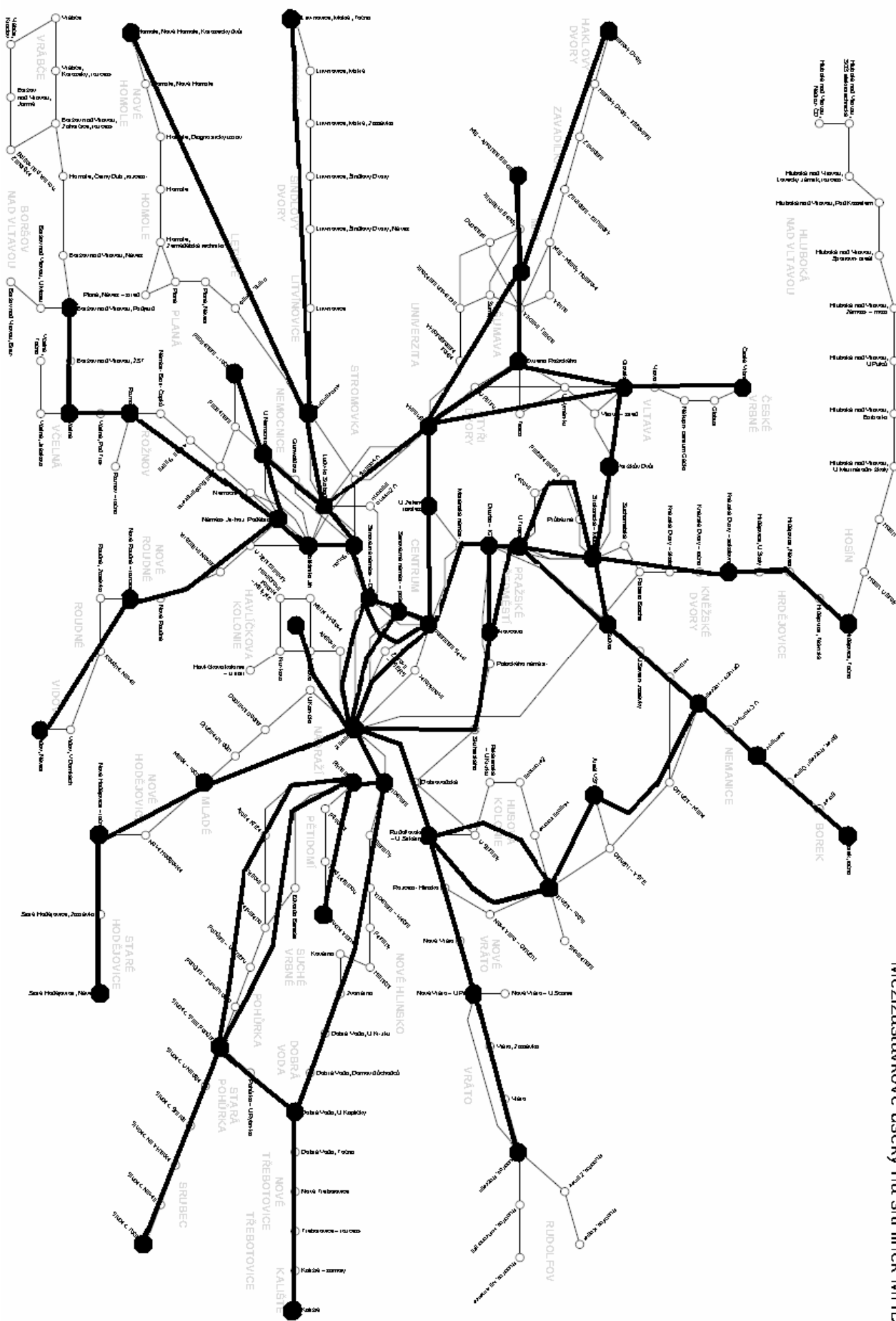
Příloha č.18: Relativní obsazenost spoje č. 19 podle trasy linky a denní doby [7]



Příloha č. 19. : Zjednodušená síť MHD České Budějovice [7]

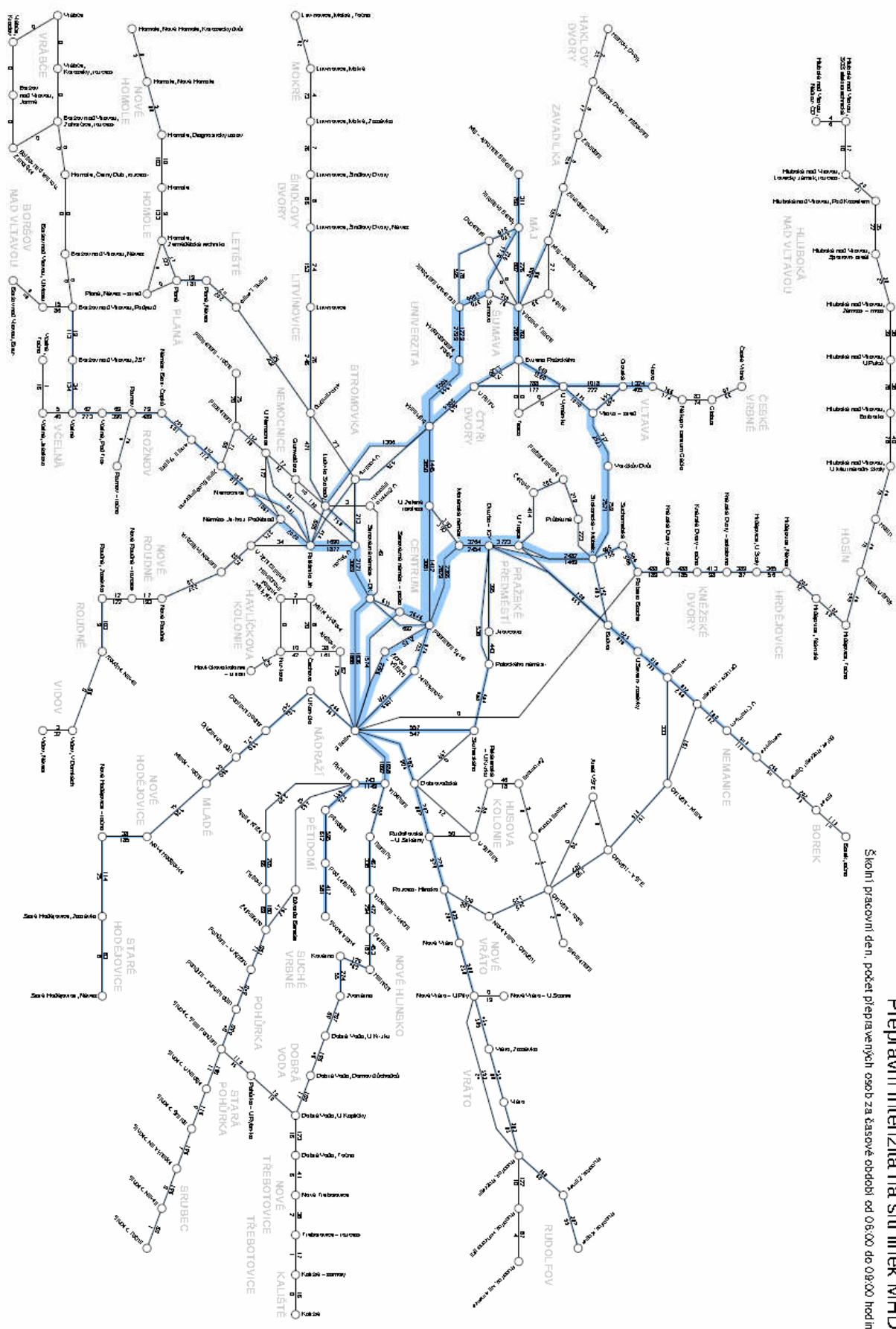


Příloha č.20. : Zjednodušená síť linek MHD České Budějovice

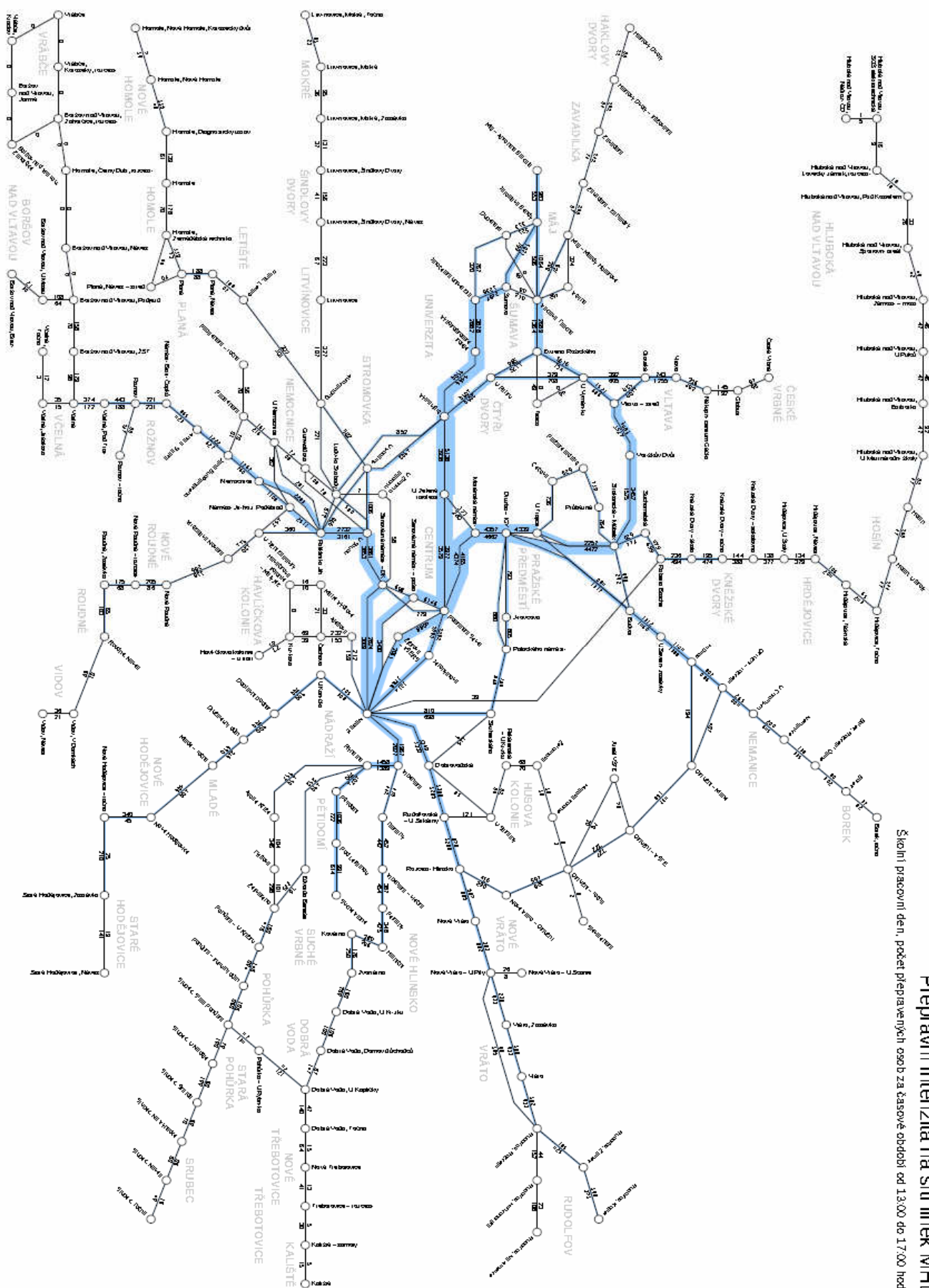


Mezizastávkové úseky na síti linek MHD

Příloha č.21. : Přepavní intenzita na síti linek MHD od 6:00 do 9:00 [7]



Příloha č. 22. : Převážná intenzita na síti linek MHD od 13:00 do 17:00 [7]

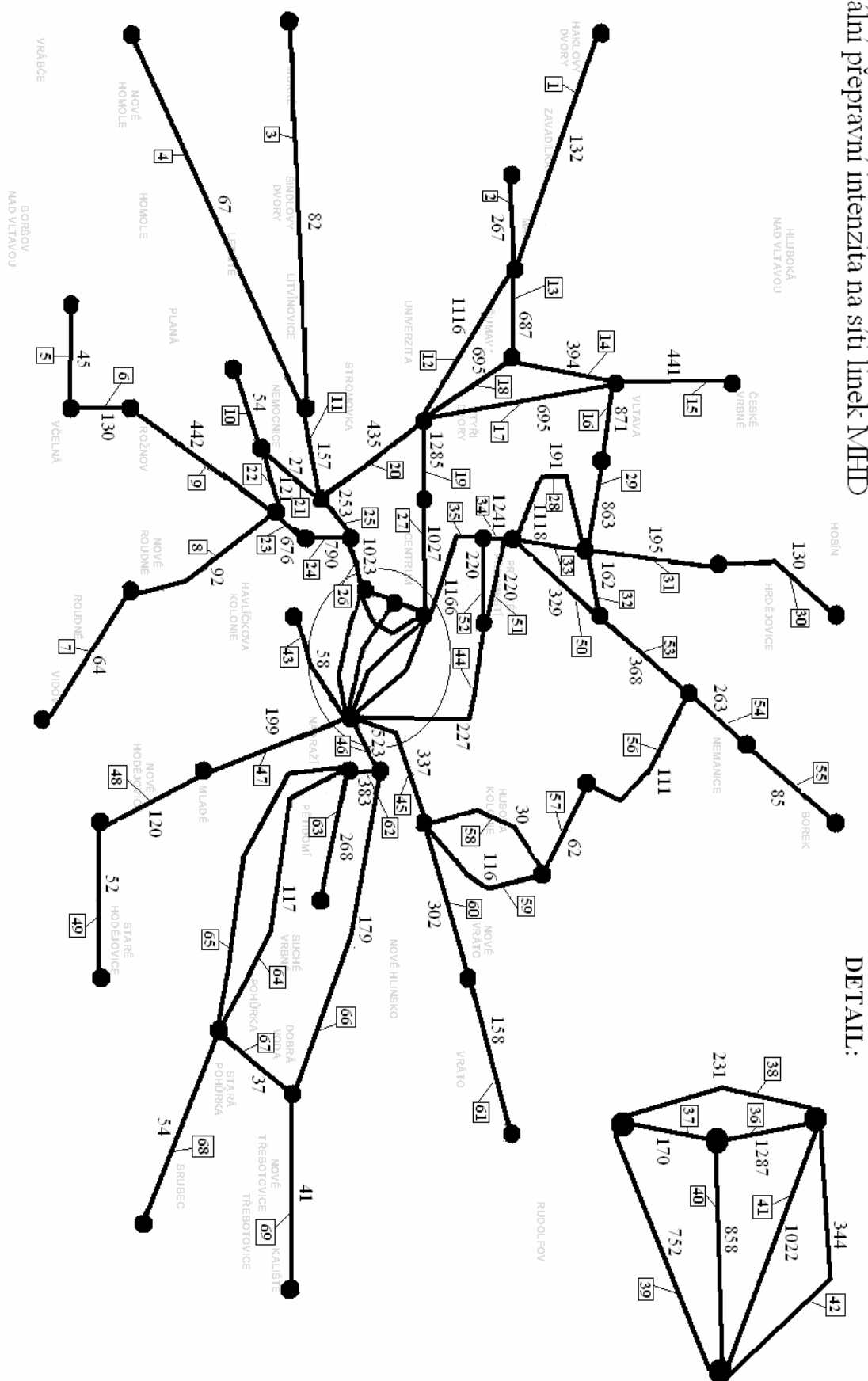


Příloha č. 23. : Určení maximální intenzity z ranních a odpoledních intenzit

Hrana č.	Linka č.	Intenzita [poč. osob/hodina]		MAX
		6:00 - 9:00	13:00-17:00	
1	1	130	132	132
2	3,5,7,8,17	267	262	267
3	16	82	82	82
4	6	67	52	67
5	7	45	40	45
6	7	130	111	130
7	10	64	44	64
8	10	92	78	92
9	2,5,7,15	356	442	442
10	2,13,14	51	54	54
11	6,16	157	55	157
12	1,3,8,15	1001	1116	1116
13	1,5,15,17,41	687	676	687
14	5,8,15,17,41	383	394	394
15	9	441	314	441
16	5,8,9,17,41	840	871	871
17	14,19	695	514	695
18	1,7,41	695	514	695
19	1,3,14,15,41	1283	1285	1285
20	7,19	435	402	435
21	13	24	27	27
22	14	57	121	121
23	2,7,10,15	676	628	676
24	2,7,10,14,15	626	790	790
25	6,7,13,16,19	253	147	253
26	2,6,10,13,14,15,16,19	1023	965	1023
27	1,3,14,15,41	1027	895	1027
28	11,12	137	191	191
29	5,8,9,13,17,41	840	863	863
30	4,6	130	75	130
31	4,6	195	186	195
32	8	162	165	165
33	4,5,6,9,11,12,17,41	809	1118	1118
34	2,4,5,6,11,12,17,41	1241	1083	1241
35	2,4,6,9,12,15	943	1166	1166

Hrana č.	Linka č.	Intenzita [poč. osob/hodina]		MAX
		6:00 - 9:00	13:00-17:00	
36	1,6,9,14,17,41	1215	1287	1287
37	6,14	170	140	170
38	6,14	231	195	231
39	2,10,15,16,19	629	752	752
40	1,3,4,9,17,41	525	858	858
41	1,3,4,9,17,41	762	1022	1022
42	2,11	344	271	344
43	12	54	58	58
44	1,5,11,15,41	227	212	227
45	1,5,8,16	268	337	337
46	9,10,13,19	523	507	523
47	11	194	199	199
48	11	108	120	120
49	11	38	52	52
50	2	226	329	329
51	11	197	220	220
52	5,11,15,41	197	220	220
53	2,8	308	368	368
54	2	263	226	263
55	2	85	84	85
56	8	111	109	111
57	8	62	20	62
58	16	17	30	30
59	8	82	116	116
60	1,5	296	302	302
61	1,5	138	158	158
62	9,10,13	383	365	383
63	9	257	268	268
64	13	117	63	117
65	10	76	89	89
66	19	179	114	179
67	10	37	34	37
68	13	54	27	54
69	10,19	41	35	41

Maximální přepravní intenzita na síti linek MHD



Příloha č. 25. : Textový soubor pro matematické modely

!počet linek na hraně

Poc:[1,5,1,1,1,1,1,1,3,3,2,3,4,4,1,5,2,3,4,2,1,1,3,4,5,7,4,2,6,2,2,1,8,8,6,6,2,2,4,6,6,2,1,4,4,4,1,1,1,1,1,3,2,1,1,1,1,1,1,2,2,3,1,1,1,1,1,1,2]

!linky na jednotlivých hranách "(číslo hrany, pořadové číslo linky) číslo linky"

Lh:[(1,1) 1,
 (2,1) 3,(2,2) 5,(2,3) 7,(2,4) 8,(2,5) 16,
 (3,1) 15,
 (4,1) 6,
 (5,1) 7,
 (6,1) 7,
 (7,1) 10,
 (8,1) 10,
 (9,1) 2,(9,2) 5,(9,3) 7,
 (10,1) 2,(10,2) 13,(10,3)14,
 (11,1) 6,(11,2) 15,
 (12,1) 1,(12,2) 3,(12,3) 8,
 (13,1) 1,(13,2) 5,(13,3) 16,(13,4) 18,
 (14,1) 5,(14,2) 8,(14,3) 16,(14,4) 18,
 (15,1) 9,
 (16,1) 5,(16,2) 8,(16,3) 9,(16,4) 16,(16,5) 18,
 (17,1) 14,(17,2) 17,
 (18,1) 1,(18,2) 7,(18,3) 18,
 (19,1) 1,(19,2) 3,(19,3) 14,(19,4) 18,
 (20,1) 7,(20,2) 17,
 (21,1) 13,
 (22,1) 14,
 (23,1) 2,(23,2) 7,(23,3) 10,
 (24,1) 2,(24,2) 7,(24,3) 10,(24,4) 14,
 (25,1) 6,(25,2) 7,(25,3) 13,(25,4) 15,(25,5) 17,
 (26,1) 2,(26,2) 6,(26,3) 10,(26,4) 13,(26,5) 14,(26,6) 15,(26,7) 17,
 (27,1) 1,(27,2) 3,(27,3) 14,(27,4) 18,
 (28,1) 11,(28,2) 12,
 (29,1) 5,(29,2) 8,(29,3) 9,(29,4) 13,(29,5) 16,(29,6) 18,
 (30,1) 4,(30,2) 6,
 (31,1) 4,(31,2) 6,
 (32,1) 8,
 (33,1) 4,(33,2) 5,(33,3) 6,(33,4) 9,(33,5) 11,(33,6) 12,(33,7) 16,(33,8) 18,
 (34,1) 2,(34,2) 4,(34,3) 5,(34,4) 6,(34,5) 11,(34,6) 12,(34,7) 16,(34,8) 18,
 (35,1) 2,(35,2) 4,(35,3) 6,(35,4) 9,(35,5) 12,(35,6) 16,
 (36,1) 1,(36,2) 6,(36,3) 9,(36,4) 14,(36,5) 16,(36,6) 18,
 (37,1) 6,(37,2) 14,
 (38,1) 6,(38,2) 14,
 (39,1) 2,(39,2) 10,(39,3) 15,(39,4) 17,
 (40,1) 1,(40,2) 3,(40,3) 4,(40,4) 9,(40,5) 16,(40,6) 18,
 (41,1) 1,(41,2) 3,(41,3) 4,(41,4) 9,(41,5) 16,(41,6) 18,
 (42,1) 2,(42,2) 11,
 (43,1) 12,
 (44,1) 1,(44,2) 5,(44,3) 11,(44,4) 18,
 (45,1) 1,(45,2) 5,(45,3) 8,(45,4) 15,
 (46,1) 9,(46,2) 10,(46,3) 13,(46,4) 17,

(47,1) 11,
 (48,1) 11,
 (49,1) 11,
 (50,1) 2,
 (51,1) 11,
 (52,1) 5,(52,2) 11,(52,3) 18,
 (53,1) 2,(53,2) 8,
 (54,1) 2,
 (55,1) 2,
 (56,1) 8,
 (57,1) 8,
 (58,1) 15,
 (59,1) 8,
 (60,1) 1,(60,2) 5,
 (61,1) 1,(61,2) 5,
 (62,1) 9,(62,2) 10,(62,3) 17,
 (63,1) 9,
 (64,1) 13,
 (65,1) 10,
 (66,1) 17,
 (67,1) 10,
 (68,1) 13,
 (69,1) 10,(69,2) 17]

!intenzity

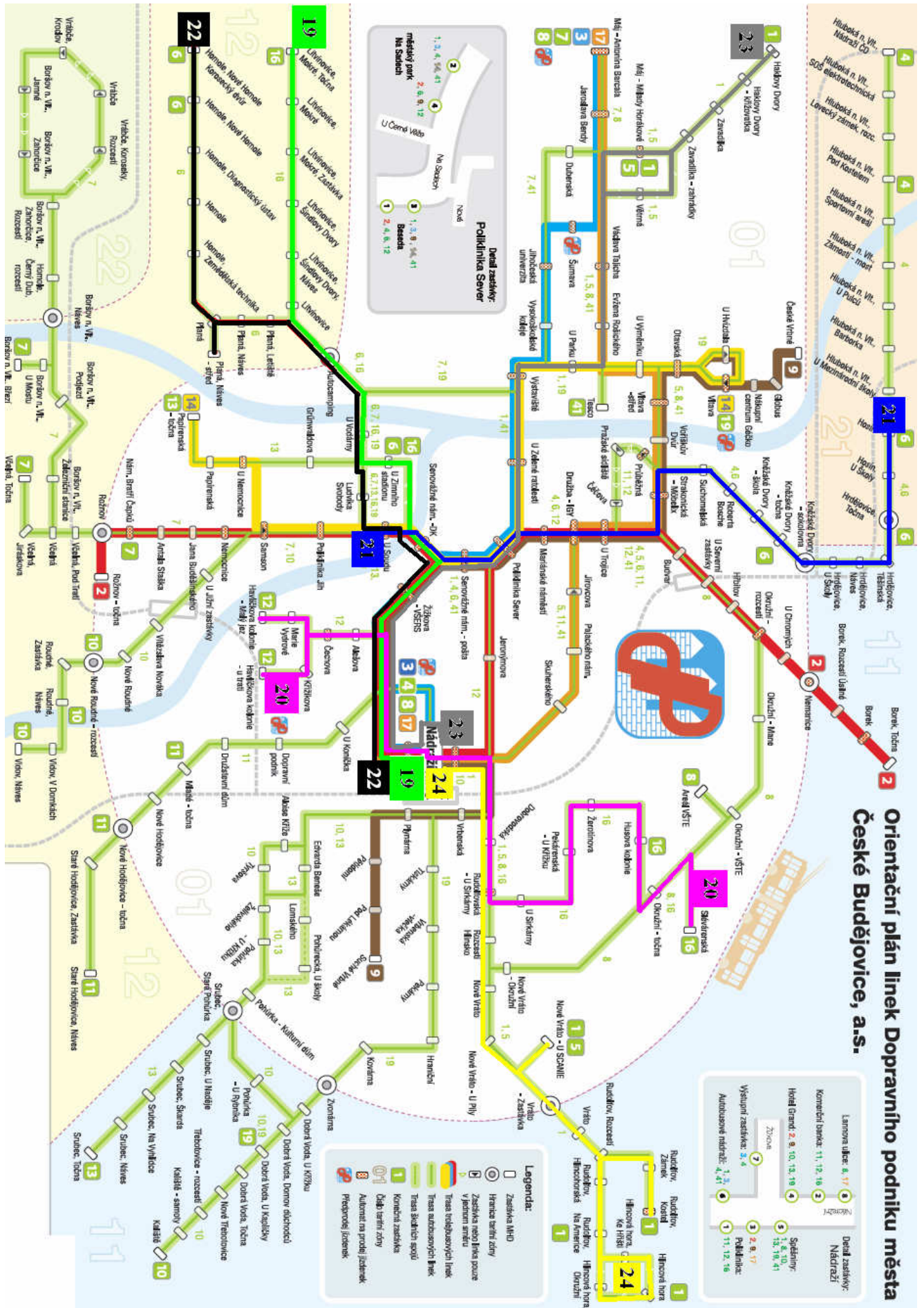
q:[132,267,82,67,45,130,64,92,442,54,157,1116,687,394,441,871,695,695,1285,435,27,12
 1,676,790,253,1023,1027,191,863,130,195,165,1118,1241,1166,1287,170,231,752,858,10
 22,344,58,227,337,523,199,120,52,329,220,220,368,263,85,111,62,30,116,302,158,383,28
 6,117,89,179,37,54,41]

!doba linky

Ol:[100,100,60,120,70,110,90,80,80,110,80,70,80,60,90,60,90,60]

!linka č. 16 - 15, linkac. 17 - 16, linka c. 19 - 17, linka c. 41 - 18

Příloha č. 26. : Schéma nově navržených linek



Příloha č. 27. : Schéma nové sítě linek MHD České Budějovice

